

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ Γ. ΜΠΑΚΙΡΤΖΗ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Κάθε γνήσιο αντίτυπο υπογράφεται από το συγγραφέα

ISBN 960-431-452-1

© Copyright: Αναστάσιος Μπακιρτζής, Εκδόσεις Ζήτη, Μάρτιος 1998, Θεσσαλονίκη
Η κατά οποιονδήποτε τρόπο και μέσο αναπαραγωγή, δημοσίευση ή χρησιμοποίηση
όλου ή μερών του βιβλίου αυτού απαγορεύεται χωρίς την έγγραφη άδεια του συγ-
γραφέα και εκδότη.



Φωτοστοιχειοθεσία
- Εκτύπωση

Βιβλιοπωλείο

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ

18° κλμ. Θεσ/νίκης-Περαιάς (στροφή Τριλόφου) ● Τ.Θ. 170 57
Θεσσαλονίκη 542 10 ● ☎ & Fax (0392) 72 222 (3 γραμμές)

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Αρμενοπούλου 27 ● ☎ (031) 203 720
Θεσσαλονίκη 546 35 ● Fax (031) 211 305

e-mail: ziti@hyper.gr

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό περιγράφει τη λειτουργία και τον έλεγχο των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και ιδιαίτερα την οικονομική λειτουργία του συστήματος παραγωγής. Προορίζεται κυρίως για τους φοιτητές του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Α.Π.Θ., αποτελεί όμως χρήσιμο βοήθημα και για τους μηχανικούς της Δ.Ε.Η. που ασχολούνται με τη λειτουργία του συστήματος.

Τα βασικά στοιχεία των σύγχρονων Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας, από το οποία γίνεται η κεντρική διαχείριση του ηλεκτρικού συστήματος με στόχο την οικονομική και αξιόπιστη λειτουργία, δίνονται στο Κεφάλαιο 1. Στο Κεφάλαιο 2 εξετάζεται η ηλεκτρική ζήτηση των καταναλωτών και η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη του ηλεκτρικού φορτίου. Το Κεφάλαιο 3 δίνει τα βασικά λειτουργικά στοιχεία των θερμικών και υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής. Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει την οικονομική κατανομή του φορτίου στις θερμικές μονάδες του συστήματος. Στα Κεφάλαια 5, 6 και 7 παρουσιάζεται ο βραχυπρόθεσμος προγραμματισμός του συστήματος παραγωγής, δηλαδή τα προβλήματα της ένταξης θερμικών μονάδων, υδροθερμικής συνεργασίας και οικονομικών ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, στο Κεφάλαιο 8 εξετάζεται ο αυτόματος έλεγχος παραγωγής.

Το μαθηματικό υπόβαθρο για την επίλυση των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται κατά τον προγραμματισμό της λειτουργίας του συστήματος παραγωγής παρουσιάζεται στα παραρτήματα, η μελέτη των οποίων είναι απαραίτητη για την κατανόηση του περιεχομένου του βιβλίου. Στο Παράρτημα Α δίνονται οι βασικές γνώσεις για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Στο Παράρτημα Β παρουσιάζεται ο δυναμικός προγραμματισμός, που είναι μια τεχνική επίλυσης προβλημάτων δυναμικής βελτιστοποίησης. Στο Παράρτημα Γ παρουσιάζεται η μέθοδος διάσπασης LaGrange για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης μεγάλης κλίμακας. Στο Παράρτημα Δ παρουσιάζονται στοιχειώδεις γνώσεις χρονοσειρών που χρειάζονται για την κατανόηση των δυναμικών μοντέλων πρόβλεψης φορτίου.

Στο βιβλίο αυτό περιγράφεται η λειτουργία του συστήματος με την προϋπόθεση μιας καθιερωμένης ηλεκτρικής εταιρίας που λειτουργεί ως τοπικό μονοπώλιο για την εξυπηρέτηση της ηλεκτρικής ζήτησης μιας περιοχής. Δεν καλύπτεται το νέο πλαίσιο λειτουργίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με ανταγωνισμό στην παραγωγή και ελεύθερη πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς. Ωστόσο, οι έννοιες και το μαθηματικό υπόβαθρο που καλύπτονται στο βιβλίο είναι απαραίτητες για την κατανόηση της λειτουργίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από το νέο πλαίσιο.

Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στα στελέχη και στους μηχανικούς της Δ.Ε.Η. για την πολύτιμη εμπειρία τους που κατάθεσαν καθώς και για τα στοιχεία του συστήματος που έδωσαν για τη συγγραφή αυτού του βιβλίου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γ. Κατσιγιαννάκη, Διευθυντή της Διεύθυνσης Εκμεταλλεύσεως Μεταφοράς (ΔΕΜ), τον κ. Α. Μαΐσση Διευθυντή της Διεύθυνσης Μελετών Συστημάτων Παραγωγής-Μεταφοράς (ΔΜΣΠΜ), την κ. Μ. Μπέσκου, Βοηθό Διευθύντρια της Διεύθυνσης Επικοινωνίας, τον κ. Θ. Τράστα, Κλαδάρχη του Κλάδου Διακίνησης Ενέργειας της ΔΕΜ, τον κ. Ι. Στεφανάκη, Τομεάρχη του Περιφερειακού Τομέα Δικτύου Μεταφοράς Κρήτης-Ρόδου του Κλάδου Δικτύου Μεταφοράς της ΔΕΜ, τον κ. Α. Τασούλη, Υποτομεάρχη Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας, τον κ. Α. Κορονίδη, Τομεάρχη Αναλύσεως Συστήματος της ΔΜΣΠΜ, τον κ. Σ. Βάσσο, Τομεάρχη του Τομέα Τεκμηρίωσης και Μελετών Στατιστικής της Διεύθυνσης Στρατηγικής και Προγραμματισμού, τον κ. Ι. Μπλάνα, Μηχανικό του Τομέα Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας, τον κ. Κ. Μποκή, Μηχανικό του Τομέα Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας, τον κ. Χ. Σουλτανίδη, Μηχανικό Λειτουργίας του Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας, τον κ. Μ. Νεονάκη, Υποτομεάρχη Ηλεκτρικής Συντήρησης ΑΗΣ Λινοπεραμάτων, την κ. Α. Γιγαντίδου, Μηχανικό του Υποτομέα Διακίνησης Ενέργειας του Περιφερειακού Τομέα Δικτύου Μεταφοράς Κρήτης-Ρόδου, τον κ. Ι. Καμπούρη, μηχανικό της Διεύθυνσης Μελετών Συστημάτων Παραγωγής-Μεταφοράς, τον κ. Π. Θεοδωρακόπουλο, Διευθυντή του ΥΗΣ Σφηκιάς, τον κ. Δ. Χατζή, Υποδιευθυντή του ΥΗΣ Σφηκιάς, τον κ. Ι. Πετρίδη, Υποτομεάρχη Λειτουργίας Α.Η.Σ. Αμυνταίου-Φιλώτα. Θα ήταν μεγάλη παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον πρώην Διευθυντή της Διεύθυνσης Εκμεταλλεύσεως Μεταφοράς κ. Μ. Παπαστεφάνου για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τα πρώτα στάδια της συγγραφής των πανεπιστημιακών σημειώσεων που αποτέλεσαν το αντικείμενο αυτού του βιβλίου.

Οφείλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Π. Ντοκόπουλο για την άδειά του να χρησιμοποιηθούν στο 3ο Κεφάλαιο ορισμένα στοιχεία από το βιβλίο του “Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας”. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους συνεργάτες των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας κ. Ε. Γκαβανίδου, για τις παρατηρήσεις και τα σχόλιά της στο επιστημονικό μέρος του κειμένου, τον κ. Χ. Ζούμα για τις διορθώσεις και τη σημαντική βοήθειά του κατά την προετοιμασία του κειμένου, καθώς και τους μηχανικούς πρώην φοιτητές μου, Α. Αποστολίδη και Θ. Βαβούρα για τη συλλογή στοιχείων, κατά την εκπόνηση της διπλωματικής τους εργασίας, που χρησιμοποιήθηκαν στο 3ο Κεφάλαιο. Τη δακτυλογράφηση του κειμένου έκαναν οι κυρίες Ν. Παπαδοπούλου και Ν. Σωτίδου, τη σχεδίαση των σχημάτων η κ. Α. Παλούρα και την επιμέλεια της έκδοσης είχε ο κ. Ν. Ζήτης. Τους ευχαριστώ θερμά όλους. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη γυναίκα μου Μαρία και τους γιούς μου Γρηγόρη και Μανόλη για την υπομονή και την υποστήριξή τους καθόλη τη διάρκεια της συγγραφής αυτού του βιβλίου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Γενικά.....	11
1.2 Το υλικό (Hardware) των συστημάτων ελέγχου ενέργειας.....	13
1.3 Το λογισμικό των συστημάτων ελέγχου ενέργειας.....	16
1.4 Το σύστημα ελέγχου ενέργειας της ΔΕΗ.....	23
1.5 Προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής.....	26

Κεφάλαιο 2

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

2.1 Εισαγωγή.....	29
2.2 Καμπύλες φορτίου.....	29
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική ζήτηση.....	32
2.4 Πρόβλεψη φορτίου.....	38
2.5 Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου.....	39
2.6 Πρόβλεψη της ημερήσιας αιχμής.....	40
2.7 Πρόβλεψη της καμπύλης φορτίου.....	43
2.8 Στατικά μοντέλα πρόβλεψης καμπύλης φορτίου.....	43
2.9 Δυναμικά μοντέλα πρόβλεψης καμπύλης φορτίου.....	45

Κεφάλαιο 3

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

3.1 Εισαγωγή.....	53
3.2 Θερμικοί σταθμοί.....	53
3.3 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί.....	58
3.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες θερμικών μονάδων.....	62
3.5 Χαρακτηριστικές καμπύλες υδροηλεκτρικών μονάδων.....	73
3.6 Κόστος εκκίνησης θερμικών μονάδων.....	77
3.7 Το σύστημα παραγωγής της Ελλάδας.....	82

Κεφάλαιο 4**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ
ΣΤΟΥΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ**

4.1 Εισαγωγή.....	85
4.2 Η απλούστερη μορφή του προβλήματος οικονομικής κατανομής φορτίου.....	86
4.3 Οικονομική κατανομή φορτίου και λειτουργικά όρια μονάδων.....	91
4.4 Οικονομική κατανομή φορτίου και απώλειες μεταφοράς.....	99
4.5 Βασικό σημείο και συντελεστές συμμετοχής.....	108
4.6 Οικονομική κατανομή φορτίου και περιορισμοί δικτύου μεταφοράς.....	110

Κεφάλαιο 5**ΕΝΤΑΞΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

5.1 Εισαγωγή.....	117
5.2 Περιορισμοί στην ένταξη μονάδων.....	122
5.3 Επίλυση του προβλήματος της ένταξης μονάδων.....	125

Κεφάλαιο 6**ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ**

6.1 Εισαγωγή.....	141
6.2 Το πρόβλημα του βραχυπρόθεσμου υδροθερμικού προγραμματισμού.....	143
6.3 Επίλυση του προβλήματος υδροθερμικού προγραμματισμού με δυναμικό προγραμματισμό.....	154
6.4 Προγραμματισμός λειτουργίας υδραυλικά συζευγμένων ΥΗΣ.....	166
6.5 Επίλυση του προβλήματος υδροθερμικής συνεργασίας με τη μέθοδο των διαδοχικών προσεγγίσεων.....	169
6.6 Επίλυση του προβλήματος υδροθερμικού προγραμματισμού με τη μέθοδο διάσπασης LaGrange.....	170
6.7 Υδροθερμική συνεργασία με τη μέθοδο διάσπασης LaGrange.....	181

Κεφάλαιο 7**ΑΝΤΑΛΛΑΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΠΡΑΞΙΕΣ ΙΣΧΥΟΣ**

7.1 Εισαγωγή.....	189
7.2 Γιατί συνεργάζονται οι ηλεκτρικές εταιρίες.....	190
7.3 Οικονομικές ανταλλαγές ενέργειας.....	194
7.4 Ανταλλαγές ενέργειας και ένταξη μονάδων.....	200

7.5 Πολυμερείς συμβάσεις ανταλλαγών.....	205
7.6 Κοινοπραξίες ισχύος.....	208

Κεφάλαιο 8

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

8.1 Εισαγωγή.....	219
8.2 Το μοντέλο της γεννήτριας.....	221
8.3 Το μοντέλο του ηλεκτρικού φορτίου.....	223
8.4 Απόκριση μοντέλου στροβιλογεννήτριας - φορτίου σε απότομες μεταβολές του φορτίου.....	225
8.5 Το μοντέλο της κινητήριας μηχανής.....	228
8.6 Το μοντέλο του ρυθμιστή στροφών.....	228
8.7 Μονάδα παραγωγής που τροφοδοτεί φορτίο.....	233
8.8 Συνεργασία δύο μονάδων παραγωγής για την κάλυψη του φορτίου.....	235
8.9 Φυσική απόκριση αυτόνομου συστήματος σε μεταβολές του φορτίου.....	239
8.10 Αυτόματος έλεγχος παραγωγής αυτόνομου συστήματος.....	244
8.11 Το μοντέλο της γραμμής διασύνδεσης.....	251
8.12 Φυσική αντίδραση διασυνδεδεμένου συστήματος στις μεταβολές του φορτίου.....	253
8.13 Αυτόματος έλεγχος παραγωγής διασυνδεδεμένου συστήματος.....	260

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ

A.1 Ελαχιστοποίηση χωρίς περιορισμούς.....	281
A.2 Ελαχιστοποίηση με εξισωτικούς περιορισμούς.....	286
A.3 Κυρτότητα.....	293
A.4 Ελαχιστοποίηση με εξισωτικούς και ανισωτικούς περιορισμούς.....	297
A.5 Απόδειξη των εξισώσεων συνεργασίας με χρήση των συνθηκών KUHN-TUCKER.....	306
A.6 Απόδειξη των εξισώσεων συνεργασίας με απώλειες μεταφοράς.....	309
A.7 Υδροθερμική συνεργασία με τη μέθοδο λ - γ και περιορισμούς αποθήκευσης.....	311

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

B.1 Εισαγωγή.....	313
B.2 Ένα απλό πρόβλημα δυναμικού προγραμματισμού.....	313

B.3	Η αναδρομική σχέση του προς τα πίσω δυναμικού προγραμματισμού.....	318
B.4	Ένας άλλος τρόπος επίλυσης του απλού παραδείγματος δυναμικού προγραμματισμού.....	320
B.5	Η αναδρομική σχέση του προς τα εμπρός δυναμικού προγραμματισμού.....	323
B.6	Ένα άλλο πρόβλημα δυναμικού προγραμματισμού.....	324

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΔΥΪΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ

Γ.1	Εισαγωγή.....	329
Γ.2	Διάσπαση με χρήση μηχανισμού τιμών.....	330
Γ.3	Σαμαροειδή σημεία της συνάρτησης LaGrange.....	332
Γ.4	Το δυϊκό πρόβλημα ελάχιστου - μέγιστου.....	338
Γ.5	Η κλίση της δυϊκής συνάρτησης.....	344
Γ.6	Επίλυση του δυϊκού προβλήματος με τη μέθοδο των κλίσεων.....	346

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Δ.1	Στοχαστικά και αιτιοκρατικά δυναμικά μαθηματικά μοντέλα.....	348
Δ.2	Στάσιμες και μη στάσιμες στοχαστικές διαδικασίες.....	349
Δ.3	Μετασχηματισμοί συστημάτων διακριτού χρόνου.....	349
Δ.4	Μοντέλο γραμμικού φίλτρου.....	351
Δ.5	Μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης - AR (Autoregressive).....	352
Δ.6	Μοντέλα κινητού μέσου όρου - MA (Moving Average).....	353
Δ.7	Μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης, κινητού μέσου όρου - ARMA (Autoregressive - Moving Average).....	354
Δ.8	Μη στάσιμες διαδικασίες - Μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης, ολοκληρωμένου κινητού μέσου όρου - ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average).....	354
Δ.9	Εποχικές διαδικασίες.....	356
Δ.10	Χαρακτηριστικά μεγέθη στάσιμων στοχαστικών διαδικασιών.....	356
Δ.11	Καθορισμός του στοχαστικού μοντέλου.....	359
Δ.12	Αναγνώριση του μοντέλου.....	360
Δ.13	Εκτίμηση μοντέλου.....	366
Δ.14	Διαγνωστικός έλεγχος.....	368
Δ.15	Διαδικασία πρόβλεψης.....	369
Δ.16	Λεξικό αγγλικής ορολογίας.....	371
	<i>Βιβλιογραφία</i>	373

Κεφάλαιο 1

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Γενικά

Τα πρώτα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1880. Έκτοτε, αύξηθηκαν δραστικά σε μέγεθος και πολυπλοκότητα. Οι μέθοδοι και ο εξοπλισμός για την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσίασαν συνεχή βελτίωση ως προς την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία τους. Η βιομηχανία ηλεκτρικής ισχύος παρουσίασε την πρώτη ειρηνική εφαρμογή της πυρηνικής ενέργειας και ήταν από τις πρώτες βιομηχανίες που χρησιμοποίησαν αναλογικό έλεγχο (των στροβιλογεννητριών) και ψηφιακούς υπολογιστές on-line. Αυτές οι εξελίξεις συχνά επιβλήθηκαν από τη ραγδαία αύξηση της ηλεκτρικής ζήτησης.

Με την αύξηση του μεγέθους των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε και ο αριθμός των γεννητριών, των γραμμών μεταφοράς, των υποσταθμών, των μετασχηματιστών, των διακοπών κ.α. Η λειτουργία τους έγινε πιο πολύπλοκη. Έτσι παρουσιάστηκε επιτακτικά η ανάγκη του συντονισμού της λειτουργίας του συστήματος από ένα κεντρικό σημείο όπου συλλέγονται όλες οι πληροφορίες για το σύστημα. Αρχικά αυτό το σημείο ονομάστηκε **Κέντρο Κατανομής Φορτίου (ΚΚΦ)**. Τα σύγχρονα Κέντρα Κατανομής Φορτίου, έχουν επιφορτισθεί με πολλές προχωρημένες λειτουργίες με στόχο την ασφάλεια του συστήματος και ονομάζονται **Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας (ΚΕΕ)**. Η πολυπλοκότητα και η μεγάλη γεωγραφική έκταση των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, επιβάλλει τεχνικοοικονομικά πολλές φορές τη δημιουργία περισσότερων του ενός κέντρων ελέγχου για την ενεργειακή διαχείριση ενός συστήματος: Ενός ή περισσότερων Περιφερειακών Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας (ΠΚΕΕ) όπου συλλέγονται οι πληροφορίες από διάφορες περιοχές του συστήματος και ενός Κεντρικού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας (ΚΚΕΕ) το οποίο συντονίζει τη λειτουργία του συστήματος. Έτσι δημιουργείται ένα **Σύστημα**

Ελέγχου Ενέργειας (ΣΕΕ) που αποτελείται από περισσότερα του ενός κέντρα ελέγχου.

Μια θεμελιώδης αρχή κατά το σχεδιασμό των ΚΕΕ είναι ότι αυξάνουν μεν την αξιοπιστία και την οικονομία του συστήματος, αλλά η λειτουργία του συστήματος είναι δυνατή και χωρίς το ΚΕΕ. Δηλαδή, ακόμη κι αν διακοπούν όλες οι επικοινωνίες των εξαρτημάτων του συστήματος και του ΚΕΕ, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα συνεχίσει να λειτουργεί. Έτσι, για παράδειγμα, υπάρχει τοπικός (σε αντιδιαστολή με τον κεντρικό) έλεγχος των διακοπών προστασίας του δικτύου που θα πρέπει να λειτουργήσει μετά από μερικούς κύκλους αψότου γίνει αντιληπτή μια υπερφόρτιση. Οι ίδιοι διακόπτες μπορούν να λειτουργήσουν και με εντολή από το ΚΕΕ σε αργότερη χρονική βάση. Επίσης μια μονάδα παραγωγής παραμένει συγχρονισμένη στο δίκτυο ακόμη και μετά τη διακοπή της επικοινωνίας της με το ΚΕΕ. Ωστόσο, χωρίς κεντρικό έλεγχο δεν εξασφαλίζεται η αξιόπιστη και οικονομική λειτουργία του συστήματος.

Το ΚΕΕ συντονίζει τη λειτουργία του συστήματος κατά τη διάρκεια ομαλής λειτουργίας καθώς και σε περιπτώσεις ανάγκης. Το βάρος του ελέγχου ρουτίνας κατά την ομαλή λειτουργία του συστήματος το αναλαμβάνει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής του ΚΕΕ. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής επεξεργάζεται τις μετρήσεις που καταφθάνουν στο ΚΕΕ από τα διάφορα σημεία του ηλεκτρικού δικτύου, εντοπίζει τις επικίνδυνες για τη λειτουργία του συστήματος εκτός ορίων τιμές και τις επισημαίνει στον άνθρωπο-χειριστή του συστήματος με οπτικό ή ηχητικό σήμα ή με παρουσίαση στην οθόνη του υπολογιστή. Πολλές "χαμηλού επιπέδου" ή λιγότερο σημαντικές περιπτώσεις τιμών εκτός ορίων αντιμετωπίζονται αυτόματα από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για παράδειγμα, αν μια αύξηση της παραγωγής πρέπει να κατανεμηθεί στις μονάδες του συστήματος και μια μονάδα λειτουργεί ήδη στο άνω όριό της, τότε θα γίνει ανακατανομή της αύξησης της παραγωγής στις υπόλοιπες μονάδες χωρίς να παραβιαστεί το άνω όριο της εν λόγω μονάδας.

Σε έκτακτες περιπτώσεις ανάγκης, όπως απώλεια μιας μονάδας παραγωγής ή απότομη αύξηση της ζήτησης ισχύος από μια γειτονική εταιρία μέσω των διασυνδεδεμένων γραμμών, την ευθύνη για τον έλεγχο του συστήματος έχει ο άνθρωπος-χειριστής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο ηλεκτρονικός υπολογιστής παρουσιάζει στο χειριστή του συστήματος όλα τα στοιχεία που θα τον βοηθήσουν στην αντιμετώπιση της κρίσης. Επειδή σε έκτακτες περιπτώσεις ανάγκης οι τιμές πολλών μετρήσεων είναι εκτός ορίων, υπάρχει ο κίνδυνος, αν επισημανθούν στο χειριστή όλες οι εκτός ορίων τιμές, να αποπροσανατολιστεί αντί να βοηθηθεί ο χειριστής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, στα σύγχρονα ΚΕΕ, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής προσπαθεί πρώτα να διαγνώσει την πηγή του πλήθους των σημάνσεων των εκτός ορίων τιμών και να ενημερώσει ανάλογα το χειριστή. Η τελική

απόφαση όμως για το διορθωτικό έλεγχο, που πρέπει να ασκηθεί σε περιπτώσεις ανάγκης, είναι ευθύνη του ανθρώπου χειριστή του συστήματος.

Στα επόμενα, περιγράφεται το υλικό και το λογισμικό των συστημάτων ελέγχου ενέργειας, δίνονται τα βασικά στοιχεία του σύγχρονου συστήματος ελέγχου ενέργειας της ΔΕΗ και περιγράφονται οι λειτουργίες του συστήματος παραγωγής που αποτελούν το περιεχόμενο αυτού του συγγράμματος.

1.2 Το υλικό (Hardware) των συστημάτων ελέγχου ενέργειας

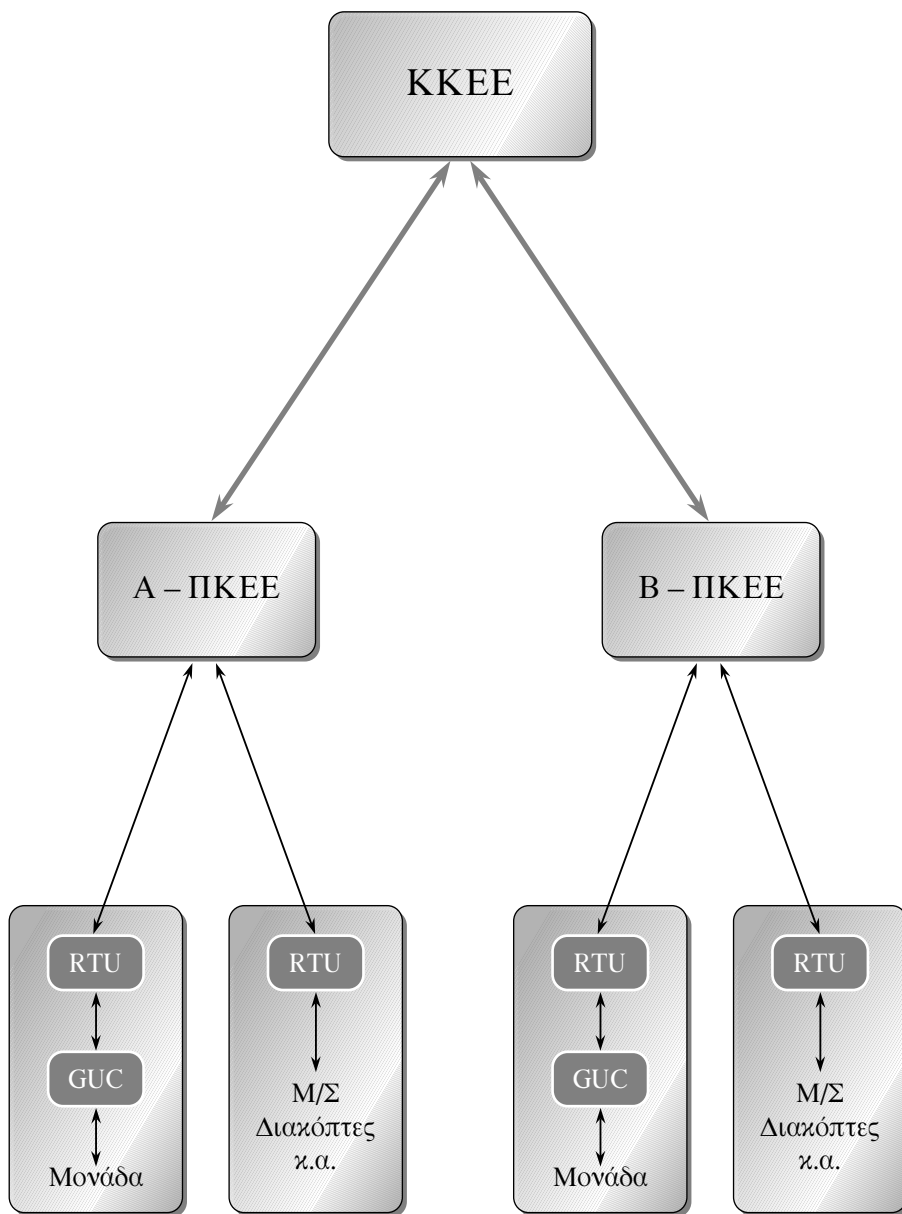
Το Σχήμα 1.1 δίνει τη διάταξη ενός ΣΕΕ που αποτελείται από ένα κεντρικό και δύο περιφερειακά κέντρα ελέγχου ενέργειας. Τα κέντρα ελέγχου ενέργειας επικοινωνούν με τους σταθμούς παραγωγής μέσω Τερματικών Μονάδων (RTUs) και Μονάδων Ελέγχου Παραγωγής (GUCs) και με τους υποσταθμούς μεταφοράς μέσω Τερματικών Μονάδων.

Οι **Τερματικές Μονάδες** (Remote Terminal Units, **RTUs**) που είναι εγκαταστημένες στους σταθμούς παραγωγής και στους υποσταθμούς, έχουν σκοπό τη συλλογή πληροφοριών για τη λειτουργία του υποσταθμού καθώς επίσης την έκδοση των εντολών που καταφθάνουν από τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας προς τον εξοπλισμό του υποσταθμού. Το RTU τροφοδοτείται από ένα σύστημα ανορθωτή/φορτιστή - συσσωρευτών ώστε σε περίπτωση απώλειας της τάσης του δικτύου να έχει αυτονομία λειτουργίας (π.χ δύο ωρών). Ο πίνακας του RTU περιλαμβάνει τη λογική μονάδα επεξεργασίας, όλες τις απαραίτητες κάρτες εισόδου/εξόδου, καθώς επίσης και τα modem για την επικοινωνία με τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας.

Οι **Μονάδες Ελέγχου Παραγωγής** (Generating Unit Controllers **GUCs**) που είναι εγκαταστημένες στους σταθμούς παραγωγής, είναι επιφορτισμένες με την έκδοση εντολών προς τους ρυθμιστές στροφών των μονάδων παραγωγής για την εξίσωση της παραγόμενης ισχύος (MW) με την εκάστοτε επιθυμητή τιμή, προστατεύοντας συγχρόνως τη μονάδα από εσφαλμένο σήμα.

Για τη λειτουργία του GUC απαιτείται η συλλογή μετρήσεων και σημάνσεων από το σταθμό όπως η παραγόμενη ισχύς, η συχνότητα, η πίεση υπέρθερμου ατμού αν πρόκειται για θερμοκί σταθμό ή η πίεση στον αγωγό προσαγωγής νερού για κάποιους τύπους υδροηλεκτρικών, η κατάσταση του διακόπτη κάθε μονάδος, κ.α..

Ακόμη, από το χειριστή του σταθμού ή της μονάδας 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



Σχήμα 1.1 Σύστημα ελέγχου ενέργειας.

GUC (εντός/εκτός ρύθμισης, τοπική ρύθμιση, εντολές στο όριο του φορτίου ή στο όριο ταχύτητας).

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

Το **Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο** το οποίο υποστηρίζει το ΣΕΕ είναι επιφορτισμένο με τη μετάδοση των μετρήσεων από τους υποσταθμούς προς τα ΚΕΕ και των εντολών από τα ΚΕΕ προς τους υποσταθμούς. Αποτελείται συνήθως από τέσσερα είδη ζεύξεων:

1. Φερρεσυχνικών (Φ/Σ, Power Line Carrier - PLC)
2. Μικροκυματικών (MW - Micro Wave)
3. Μισθωμένων Ευθειών
4. Καλωδίων Πιλότων

Στις κτιριακές εγκαταστάσεις των ΚΕΕ υπάρχουν οι κεντρικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές (H/Y), ο περιφερειακός εξοπλισμός, οι εμπρόσθιοι υπολογιστές (Telemetry Front Ends) και ο εξοπλισμός του συστήματος επικοινωνίας ανθρώπου - μηχανής (Man-Machine Interface, MMI).

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 ως "κύριος" ενώ ο άλλος ως "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 H/Y 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.

Οι **εμπρόσθιοι υπολογιστές** κάθε Περιφερειακού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας είναι συνήθως μικροϋπολογιστές και επικοινωνούν με τα RTUs των υποσταθμών μέσω του τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Επικοινωνούν επίσης με τους κεντρικούς H/Y των ΠΚΕΕ μέσω δικτύου υπολογιστών (πχ. Ethernet). Για λόγους εφεδρείας υπάρχουν δύο εμπρόσθιοι υπολογιστές σε κάθε ΠΚΕΕ.

Ο εξοπλισμός του **συστήματος επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής** (MMI) περιλαμβάνει:

- Θέσεις εργασίας (π.χ. τρεις) για τους χειριστές του συστήματος. Κάθε θέση εργασίας αποτελείται από μικροϋπολογιστές (π.χ. τρεις) με έγχρωμες οθόνες υψηλής ανάλυσης, ένα αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο, ένα λειτουργικό πληκτρολόγιο και ένα "track ball" ή "light pen".
- Μιμικό διάγραμμα με LEDs και φωτεινούς ενδείκτες για τη γενική απεικόνιση του συστήματος.
- Καταγραφικά χάρτου οδηγούμενα από προγραμματιζόμενους ελεγκτές.
- Εκτυπωτές διαρκούς καταγραφής (Loggers), εκτυπωτές γραμμής και έγχρωμο εκτυπωτή γραφικών.

1.3 Το λογισμικό των συστημάτων ελέγχου ενέργειας

Το Λογισμικό Εφαρμογών των Συστημάτων 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.

Το υποσύστημα Παραγωγής περιλαμβάνει λειτουργίες με τη βοήθεια των οποίων ελέγχεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να ικανοποιούνται οι προγραμματισμένες ανταλλαγές με τις γειτονικές χώρες και η ζήτηση φορτίου κατά τρόπο οικονομικό και ασφαλή.

Το υποσύστημα Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς περιλαμβάνει λειτουργίες που χρησιμοποιούν το μοντέλο του ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς και τα δεδομένα πραγματικού χρόνου από το υποσύστημα SCADA και παρέχουν στο χειριστή πληροφορίες για την ασφαλή και οικονομική διακίνηση ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω του δικτύου μεταφοράς.

1.3.1 Το υποσύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών (SCADA)

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).

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 σημάτων 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.

Σε ένα σύγχρονο σύστημα SCADA, όπως αυτό της ΔΕΗ, τα δεδομένα συλλέγονται στο Κέντρο Ελέγχου με περιοδικές σαρώσεις κάθε 2 sec. Σε επίπεδο RTU, οι σημάσεις 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 όλων 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 σημάσεις μεταδίδονται στο Κέντρο Ελέγχου στην περίπτωση μεταβολής της κατάστασής τους (report by exception). Ορισμένες σημάσεις (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 στον Κεντρικό Υπολογιστή.

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 το συγκεκριμένο κατώφλιο μεταβολής καθοριζόμενο από το χρήστη.

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 αποξενκτών 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) στους υδροηλεκτρικούς και στους θερμικούς σταθμούς παραγωγής. Η επιθυμητή τιμή ισχύος εξόδου των μονάδων (MW) φθάνει κάθε 4 sec στα εκεί εγκαταστημένα RTUs και διαβιβάζεται στους ελεγκτές γεννητριών σταθμών παραγωγής (GUCs).

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.

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 σχετικών με την τρέχουσα κατάστασή τους.

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.

Λειτουργία Επεξεργασίας Τοπολογίας

Η λειτουργία επεξεργασίας τοπολογίας προσδιορίζει την τρέχουσα κατάσταση τοπολογίας του Υποσταθμού (Υ/Σ), δηλαδή το πώς τα διάφορα στοιχεία του Υ/Σ συνδέονται μεταξύ τους 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.

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.

1.3.2 Το Υποσύστημα Παραγωγής

Οι λειτουργίες του υποσυστήματος παραγωγής σχετίζονται με τον προγραμματισμό και τον έλεγχο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βασικές λειτουργίες του υποσυστήματος παραγωγής, είναι:

- Ο Αυτόματος Έλεγχος Παραγωγής (Automatic Generation Control)
- Η Οικονομική Κατανομή Φορτίου (Economic Dispatch)
- Η Ένταξη Μονάδων (Unit Commitment)
- Η Αξιολόγηση Ανταλλαγών (Interchange Evaluation)
- Η Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου (Short Term Load Forecasting)

Αυτόματος Έλεγχος Παραγωγής (ΑΕΠ)

Στόχος του Αυτόματου Ελέγχου παραγωγής 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. Ο ΑΕΠ καθορίζει την ενεργό ισχύ που πρέπει σε κάθε χρονική στιγμή να καταναμηθεί στις ελεγχόμενες μονάδες. Οι επιθυμητές τιμές αποστέλλονται στους ελεγκτές των μονάδων (GUCs) μέσω του υποσυστήματος SCADA.

Οικονομική Κατανομή Φορτίου

Το πρόγραμμα της Οικονομικής Κατανομής Φορτίου εκτελείται κάθε πέντε λεπτά με σκοπό την κατανομή του φορτίου του συστήματος στις μονάδες έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος παραγωγής. Η οικονομική κατανομή φορτίου παρέχει στον ΑΕΠ τα φορτία βάσης των μονάδων.

Ένταξη Μονάδων

Σε αμίγως θερμοικά συστήματα υπολογίζεται το πρόγραμμα λειτουργίας (κρά-

τησης - ένταξης) των θερμικών μονάδων έτσι ώστε να καλύπτεται η προβλεπόμενη ζήτηση του επόμενου 24ώρου (ή της επόμενης εβδομάδας) με το ελάχιστο δυνατό κόστος παραγωγής. Το πρόγραμμα ένταξης μονάδων ενεργοποιείται από το χειριστή τυπικά ανά μια ώρα.

Σε υδροθερμικά συστήματα υπολογίζεται το πρόγραμμα λειτουργίας θερμικών και υδροηλεκτρικών μονάδων, έτσι ώστε να καλύπτεται η προβλεπόμενη ζήτηση του επόμενου 24ώρου (ή της επόμενης εβδομάδας) με το ελάχιστο δυνατό κόστος παραγωγής. Η ένταξη μονάδων σε μικτά υδροθερμικά συστήματα είναι γνωστή ως **Υδροθερμική Συνεργασία** (Hydrothermal Coordination).

Αξιολόγηση Ανταλλαγών

Με δεδομένη την πρόβλεψη του φορτίου, το πρόγραμμα αξιολόγησης ανταλλαγών προσδιορίζει το βέλτιστο συνδυασμό ένταξης μονάδων και ανταλλαγών, που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος λειτουργίας του συστήματος κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (το επόμενο 24ωρο ή την επόμενη εβδομάδα).

Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου

Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου παρέχει ωριαίες προβλέψεις φορτίου του συστήματος για χρονικό ορίζοντα μιας εβδομάδας χρησιμοποιώντας τεχνικές στατιστικής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου χρησιμοποιούνται από τα προγράμματα ένταξης μονάδων και αξιολόγησης ανταλλαγών.

1.3.3 Το Υποσύστημα Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς

Οι λειτουργίες του υποσυστήματος Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς σχετίζονται με το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βασικές λειτουργίες του υποσυστήματος Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς είναι:

- Η Εκτίμηση Κατάστασης (State Estimation)
- Η Ροή Φορτίου (Load Flow)
- Η Ανάλυση Ενδεχομένων Διαταραχών (Contingency Analysis)

Εκτίμηση Κατάστασης

Η εκτίμηση κατάστασης είναι ένα πρόγραμμα που τρέχει σε πραγματικό χρόνο και περιλαμβάνει μαθηματικούς αλγορίθμους που επεξεργάζονται συλλεγόμενες μετρήσεις από το SCADA και υπολογίζουν τα μέτρα και τις φάσεις των τάσεων σε όλους τους ζυγούς του ηλεκτρικού συστήματος, προσδιορίζει δηλαδή, τη λειτουργική κατάσταση του συστήματος (Αποδεικνύεται ότι η ελάχιστη πληρο-

φορτία που περιγράφει τη μόνιμη, ισοσταθμισμένη λειτουργική κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου είναι τα μέτρα και οι φάσεις των τάσεων όλων των ζυγών). Μετά την εκτίμηση της λειτουργικής κατάστασης του δικτύου μεταφοράς υπολογίζονται και οι συντελεστές ευαισθησίας των απωλειών του δικτύου μεταφοράς ως προς τις παραγωγές ενεργού ισχύος των μονάδων παραγωγής. Οι συντελεστές αυτοί χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα της οικονομικής κατανομής φορτίου για να προσδιορισθεί η επιβάρυνση του κόστους παραγωγής κάθε μονάδας ανάλογα με τη συμβολή της στην αύξηση ή μείωση των απωλειών μεταφοράς.

Το πρόγραμμα εκτίμησης κατάστασης εκτελείται περιοδικά ανά 10 λεπτά ή όταν διαπιστώνονται αλλαγές στην κατάσταση του δικτύου.

Ροή Φορτίου

Η Ροή Φορτίου είναι ένα πρόγραμμα μελέτης που παρέχει στους χειριστές και τους μελετητές λειτουργίας του συστήματος τη δυνατότητα να μελετήσουν τη μόνιμη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς. Με δεδομένα τη ζήτηση φορτίου στους ζυγούς και την παραγωγή των γεννητριών, η ροή φορτίου επιλύει τις εξισώσεις της μόνιμης, ισοσταθμισμένης λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου, ικανοποιώντας συγχρόνως και διάφορους λειτουργικούς περιορισμούς του συστήματος όπως τα όρια αέργου ισχύος των γεννητριών, πρόγραμμα ισχύος ανταλλαγών κ.α.

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 στη λειτουργία του δικτύου. Σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου, η ανάλυση χρησιμοποιεί σαν αφετηρία τα αποτελέσματα της εκτίμησης κατάστασης για τη διερεύνηση διαταραχών. Αν σημειωθούν παραβιάσεις ορίων, παράγονται σημάνσεις. Επιτρέπεται στο χειριστή να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει ειδικές ενδεχόμενες διαταραχές ή ομάδες ενδεχομένων 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. Αρχικά οι διαταραχές ιεραρχούνται βάσει ορισμένων δεικτών σπουδαιότητας που αντιπροσωπεύουν τη σοβαρότητα των διαταραχών ως προς την παραβίαση ορισμένων λειτουργικών ορίων του συστήματος. Στόχος της ιεράρχησης είναι να εντοπιστούν οι ενδεχόμενες επικίνδυνες διαταραχές. Λεπτομερειακή ανάλυση γίνεται μόνο για τις επικίνδυνες διαταραχές ενώ διαταραχές που έχουν ιεραρχηθεί ως ακίνδυνες δεν αναλύονται περαιτέρω.

Το πρόγραμμα που εκτελείται στη συνέχεια περιλαμβάνει αλγόριθμους ταχείας επίλυσης ροών φορτίου. Η ασφάλεια του δικτύου προσδιορίζεται από τη μη παραβίαση ορίων όπως φορτίσεις εξαρτημάτων, τάσεων, κ.λπ.

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 μεταβάλλει την περίοδο εκτέλεσης του προγράμματος.

Η λειτουργία του προγράμματος σε περιβάλλον μελέτης είναι ίδια με αυτήν σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου με τη διαφορά ότι τα δεδομένα λαμβάνονται από το πρόγραμμα ροής φορτίου. Επειδή στα πλαίσια του προγράμματος ανάλυσης ενδεχομένων διαταραχών εξετάζονται σε μια εκτέλεση μέχρι και 200 τέτοια ενδεχόμενα, παρουσιάζονται στο χειριστή μόνο πληροφορίες που αφορούν σε παραβιάσεις ορίων 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.

1.3.4 Ο προσομοιωτής εκπαίδευσης χειριστών

Η χρήση των ηλεκτρονικών μέσων και πολύπλοκων προγραμμάτων στην αίθουσα ελέγχου δεν 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. Αυτό όμως απαιτεί εκτός από την άριστη γνώση της συμπεριφοράς του ηλεκτρικού συστήματος και την άριστη γνώση της χρήσης 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 (PEX) είναι μία off-line λειτουργία, χαμηλής προτεραιότητας, που εκτελείται στον εφεδρικό κεντρικό υπολογιστή του Κέντρου Ελέγχου. Σε περίπτωση που ο κύριος κεντρικός υπολογιστής τεθεί εκτός λειτουργίας, η εκτέλεση του PEX διακόπτεται.

Τα βασικά υποσυστήματα του PEX 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 ότι αφορά το χειρισμό σταθμών παραγωγής και υποσταθμών καθώς και τη λειτουργία διακοπών υπό τη δράση

ηλεκτρονόμων. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τη δυναμική προσομοίωση του συστήματος. Τα βασικά προγράμματα προσομοίωσης είναι της ροής φορτίου και της δυναμικής συμπεριφοράς. Το πρόγραμμα ροής φορτίου 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 φορτίου παρέχει αποτελέσματα μόνιμης κατάστασης (ροές, τάσεις, κ.λπ.). Το πρόγραμμα δυναμικής συμπεριφοράς λύνει το πρόβλημα συχνότητας συστήματος, υποθέτοντας ενιαία συχνότητα σε ολόκληρο το σύστημα ή σε 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 επικοινωνίας 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 φορτίου, κ.λπ.

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.

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 καταχωρημένο σε αρχείο), είτε μελλοντικά σενάρια λειτουργίας.

1.4 Το σύστημα ελέγχου ενέργειας της ΔΕΗ

Προκειμένου να βελτιώσει τη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος, η ΔΕΗ εγκατέστησε πρόσφατα ένα σύγχρονο Σύστημα Ελέγχου Ενέργειας (ΣΕΕ) που είναι ένα ιεραρχικό σύστημα ελέγχου, αποτελούμενο από ένα Εθνικό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΕΚΕΕ) και δύο Περιφερειακά Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας (ΠΚΕΕ).

Η σύμβαση για την κατασκευή του ΣΕΕ υπογράφηκε τον Απρίλιο του 1990 και

η υλοποίησή του άρχισε αμέσως από τη γαλλική εταιρία CEGELEC, με υπεργολάβο την ελληνική εταιρία INTRACOM η οποία κατασκεύασε το 38% της αξίας του εξοπλισμού του έργου. Οι ελληνικές κατασκευαστικές εταιρίες ΔΙΕΚΑΤ και ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ήταν υπεύθυνες για την κατασκευή των κτιριακών εγκαταστάσεων και την τοποθέτηση και λειτουργία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Το λογισμικό αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ από την εταιρία CEGELEC ESCA, θυγατρική της CEGELEC. Η εγκατάσταση του συστήματος στην Ελλάδα έγινε το καλοκαίρι του 1993. Η εμπορική λειτουργία των τριών νέων κέντρων ελέγχου άρχισε στα τέλη του 1994, παράλληλα με το παλιό κέντρο ελέγχου που βρίσκεται στο Ρουφ, στην Αθήνα. Τελικά, στις αρχές του 1996, το παλιό κέντρο έλλεισε και τα νέα κέντρα ανέλαβαν την αποκλειστική ευθύνη.

Η συνολική δαπάνη του Έργου συμπεριλαμβανομένης και της αναπροσαρμογής τιμών έφτασε σε ύψος 12,5 δις δρχ. περίπου και περιλαμβάνει τα δύο κτίρια με τον ηλεκτρομηχανολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, την επίπλωση, τις επεκτάσεις κτιρίων 17 υποσταθμών, τον περιφερειακό εξοπλισμό σε 87 υποσταθμούς και σταθμούς παραγωγής του ηλεκτρικού συστήματος καθώς και τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό (ΟΤΕ). Το έργο εντάχθηκε στο Πρώτο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης και χρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) με ποσό περίπου 14 εκ. ECU (4,2 δις δρχ.) καθώς και από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (ΕΤΕ) με δάνειο 10 εκ. ECU (3 δις δρχ.).

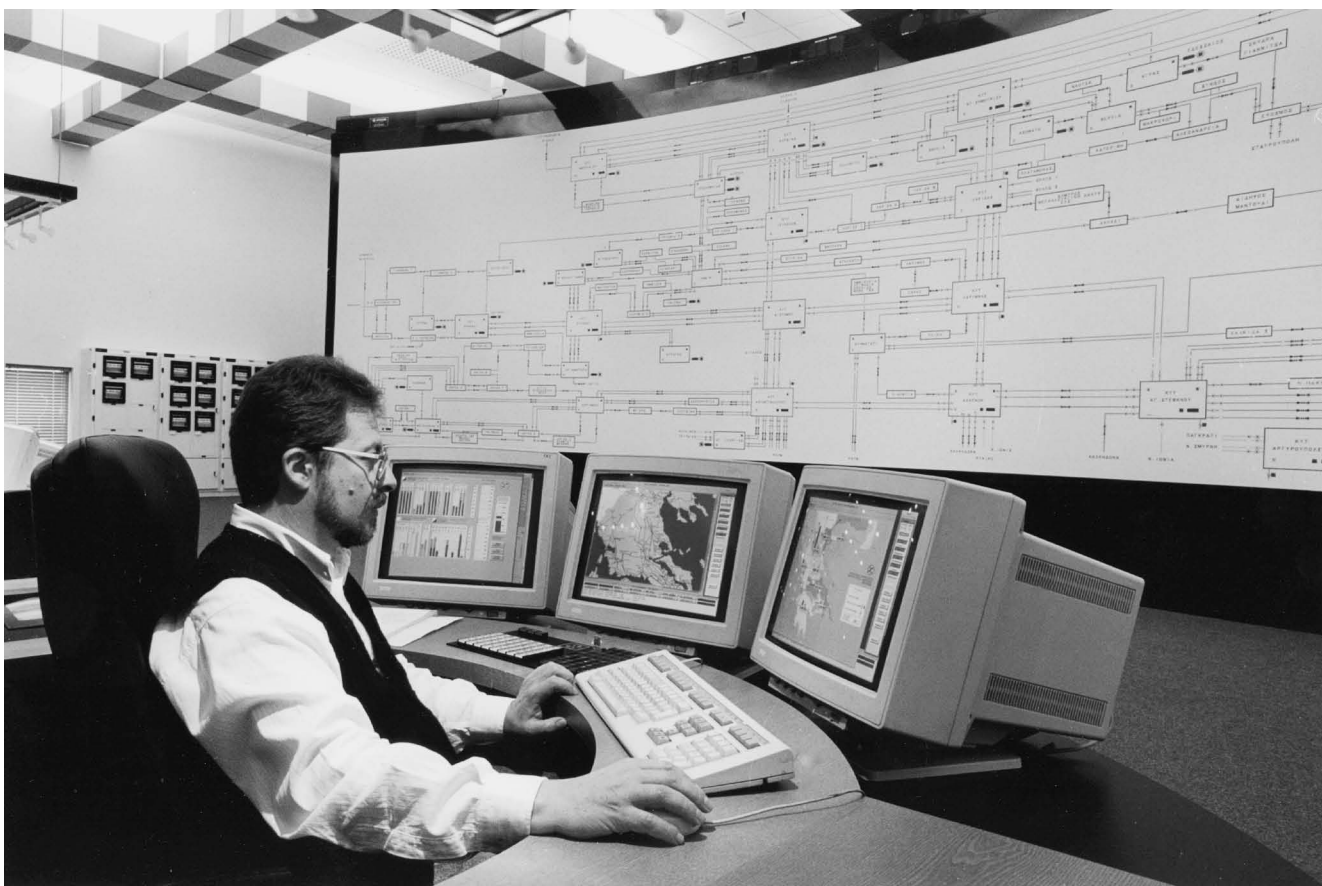
Το Εθνικό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΕΚΕΕ) και το Νότιο Περιφερειακό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΝΠΚΕΕ) συστεγάζονται σε κτίριο στον Αγ. Στέφανο Αττικής, όπου στην ευρύτερη περιοχή καταναλώνεται το 33% της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το Βόρειο Περιφερειακό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΒΠΚΕΕ) στεγάζεται σε κτίριο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

Καθ' ένα από 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 λειτουργικής ασφάλειας, τη βελτίωση της ποιότητας εξυπηρέτησης των καταναλωτών και την αύξηση της αποδοτικότητας της Επιχείρησης. Όλα τα προγράμματα ενεργειακής διαχείρισης που αναπτύχθηκαν στην §1.3 υπό-

χουν στο ΕΚΕΕ. Επίσης, υπάρχει πρόγραμμα προσομοίωσης του ηλεκτρικού συστήματος για την εκπαίδευση των χειριστών.

Το υλικό και των τριών κέντρων, βασίζεται σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές VAX 6000 της εταιρίας DIGITAL. Το λειτουργικό σύστημα είναι το VAX/VMS. Για την επικοινωνία των υπολογιστών χρησιμοποιείται το DECNET. Η επικοινωνία μεταξύ ΕΚΕΕ και ΒΠΚΕΕ γίνεται μέσω μικροκυματικών ζεύξεων ταχύτητας 9600 bps και μίας φερεσυχνικής ζεύξης 4800 bps με τη βοήθεια των "ROUTERS" που υποστηρίζουν πρωτόκολλα DDCMP και X.25. Το κάθε Περιφερειακό ΚΕΕ έχει δύο εμπρόσθιους υπολογιστές σειράς 3400.



Σχήμα 1.2 Η αίθουσα ελέγχου του Εθνικού Ελέγχου Κέντρον Ενέργειας στον Άγιο Στέφανο Αττικής. Διακρίνεται το μμικό διάγραμμα και μία από τις τρεις θέσεις εργασίας των χειριστών.

Η επικοινωνία μεταξύ ΠΚΕΕ και τερματικών μονάδων (RTUs) γίνεται μέσω κύριων και εφεδρικών οδεύσεων σε ταχύτητες 300, 600 και 1200 bps. Οι ταχύτητες σάρωσης είναι 2 sec, 4 sec και 10 sec. Επίσης κάθε 600 sec γίνεται μια γενική σάρωση.

Το ΣΕΕ έχει σχεδιαστεί για 240 RTUs που θα συλλέγουν 15.000 αναλογικές μετρήσεις, 48.000 ψηφιακές σημάνσεις, 550 μετρήσεις ενέργειας και 11.000 εντολές τηλεχειρισμού. Η επικοινωνία ανθρώπου - μηχανής βασίζεται σε πλήρη γραφικά συστήματα απεικόνισης.

Το Σχήμα 1.2 δείχνει την αίθουσα ελέγχου του ΕΚΕΕ στον Άγιο Στέφανο Αττικής.

1.5 Προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής

Το παρόν σύγγραμμα ασχολείται με το βραχυπρόθεσμο προγραμματισμό και τον έλεγχο του συστήματος παραγωγής, δηλαδή με τις λειτουργίες του υποσυστήματος παραγωγής των ΚΕΕ.

Στόχος του συστήματος παραγωγής είναι η κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τον πλέον οικονομικό και αξιόπιστο τρόπο.

Ο προγραμματισμός ανάπτυξης του συστήματος παραγωγής, με χρονικό ορίζοντα 10-25 χρόνια, αποφασίζει για την ένταξη (εγκατάσταση) νέων μονάδων στο σύστημα έτσι ώστε να καλυφθεί αξιόπιστα η διαχρονική αύξηση της ζήτησης των καταναλωτών κατά τρόπο που να ελαχιστοποιεί το συνδυασμένο κόστος επενδύσεων και λειτουργίας του συστήματος στο μακροχρόνιο ορίζοντα προγραμματισμού.

Μεσοπρόθεσμα, με χρονικό ορίζοντα προγραμματισμού 1-5 χρόνια, γίνεται ο προγραμματισμός αγοράς καυσίμων, χρήσης υδάτινων πόρων και καταρτίζεται το πρόγραμμα συντήρησης των μονάδων παραγωγής.

Κατά το μακροχρόνιο και μεσοπρόθεσμο προγραμματισμό του συστήματος παραγωγής, παράγοντες όπως η ηλεκτρική ζήτηση, η διαθεσιμότητα των μονάδων παραγωγής, η υδραυλικότητα του έτους, οι τιμές των καυσίμων κ.α. δεν είναι γνωστοί και πρέπει να αναλυθούν με πιθανοτικές μεθόδους. Καταρτίζονται συνήθως διάφορα σενάρια ανάλογα με τις παραδοχές που έγιναν για τις πιθανές τιμές των αβέβαιων παραγόντων. Στο σύγγραμμα αυτό δεν εξετάζεται ο μακροχρόνιος και ο μεσοπρόθεσμος προγραμματισμός του συστήματος παραγωγής. Εξετάζεται μόνο ο βραχυπρόθεσμος προγραμματισμός παραγωγής με χρονικό ορίζοντα μέχρι μια εβδομάδα καθώς και η λειτουργία και ο έλεγχος του συστήματος παραγωγής.

Κατά το βραχυχρόνιο προγραμματισμό του συστήματος παραγωγής, με χρονικό ορίζοντα συνήθως την επόμενη εβδομάδα, θεωρείται γνωστή η ζήτηση των καταναλωτών (τα ηλεκτρικά φορτία της επόμενης εβδομάδας μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια 2-3%), η διαθεσιμότητα των μονάδων παραγωγής, οι εισροές νερού στους ταμιευτήρες των υδροηλεκτρικών σταθμών κ.α.

Κάθε μέρα, οι χειριστές του συστήματος προσδιορίζουν με τη βοήθεια του λογισμικού των ΚΕΕ το βέλτιστο χρονοδιάγραμμα ένταξης/κράτησης των μονάδων παραγωγής της επόμενης μέρας και της επόμενης εβδομάδας. Στόχος του προγράμματος ένταξης μονάδων είναι η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους (καυσίμων, λειτουργίας και συντήρησης, εκκίνησης) όλων των μονάδων παραγωγής κατά τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα προγραμματισμού. Ενώ η κατάρτιση του προγράμματος ένταξης μονάδων γινόταν παραδοσιακά από τους χειριστές του συστήματος κάθε μέρα, με την ταχύτητα των σύγχρονων Η/Υ το πρόγραμμα ένταξης μονάδων μπορεί πλέον να αναπροσαρμόζεται κάθε ώρα σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία που συλλέγονται στο ενεργειακό κέντρο (φορτία, διαθεσιμότητα μονάδων παραγωγής, κ.α.).

Σε μικτά υδροθερμικά συστήματα η ένταξη μονάδων ονομάζεται συνήθως υδροθερμική συνεργασία γιατί εκτός από το πρόγραμμα ένταξης/κράτησης των θερμικών και υδροηλεκτρικών μονάδων υπολογίζει και τη βέλτιστη διάθεση των διαθέσιμων, κατά τη χρονική περίοδο προγραμματισμού, υδάτινων πόρων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε διασυνδεδεμένα συστήματα, κάθε μέρα οι χειριστές, με τη βοήθεια του λογισμικού του ΚΕΕ, καταρτίζουν το βέλτιστο πρόγραμμα ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας με τα γειτονικά συστήματα για την επόμενη μέρα ή την επόμενη εβδομάδα. Προσδιορίζουν δηλαδή, το βέλτιστο συνδυασμό ένταξης μονάδων και ανταλλαγών που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος παραγωγής κατά τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα προγραμματισμού.

Κάθε πέντε λεπτά εκτελείται στον κεντρικό υπολογιστή του ενεργειακού κέντρου το πρόγραμμα οικονομικής κατανομής φορτίου. Η οικονομική κατανομή φορτίου κατανέμει κατά τον πιο οικονομικό τρόπο την τρέχουσα ζήτηση των καταναλωτών στις θερμικές μονάδες παραγωγής που είναι ενταγμένες στο δίκτυο. Κατά την επίλυση του προβλήματος οικονομικής κατανομής φορτίου η λειτουργική κατάσταση (ένταξη/κράτηση) των μονάδων παραγωγής, η παραγωγή των υδροηλεκτρικών μονάδων και οι ανταλλαγές ισχύος είναι γνωστές από τα προγράμματα ένταξης μονάδων (ή υδροθερμικής συνεργασίας) και ανταλλαγών που έχουν ήδη καταρτισθεί.

Οι βέλτιστες τιμές των ισχύων εξόδου των θερμικών μονάδων που υπολογίζει το πρόγραμμα οικονομικής κατανομής φορτίου καθώς και οι βέλτιστες τιμές των ισχύων εξόδου των υδροηλεκτρικών μονάδων που υπολογίζει το πρόγραμ-

μα υδροθερμικής συνεργασίας δίνουν τα φορτία βάσης (ή αναφοράς) των μονάδων για τον Αυτόματο Έλεγχο Παραγωγής (ΑΕΠ). Ο ΑΕΠ μεταβάλλει συνεχώς την ισχύ εξόδου ορισμένων, ρυθμιστικών μονάδων γύρω από τα βασικά τους φορτία έτσι ώστε να καλύπτεται η συνεχώς μεταβαλλόμενη ζήτηση, ενώ παράλληλα να διατηρείται η συχνότητα του δικτύου και οι ανταλλαγές ισχύος στις προγραμματισμένες τιμές.

Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζεται η ηλεκτρική ζήτηση των καταναλωτών και η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη του ηλεκτρικού φορτίου. Στο Κεφάλαιο 3 μελετώνται οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των θερμικών και υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής που περιγράφουν την κατανάλωση (καυσίμου/νερού) των μονάδων σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ. Αναλύεται επίσης το κόστος καυσίμου και το κόστος εκκίνησης των θερμικών μονάδων παραγωγής. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται και επιλύεται το πρόβλημα της Οικονομικής Κατανομής Φορτίου. Στα Κεφάλαια 5, 6 και 7 παρουσιάζεται ο βραχυπρόθεσμος προγραμματισμός του συστήματος παραγωγής, δηλαδή τα προγράμματα ένταξης μονάδων, υδροθερμικής συνεργασίας και ανταλλαγών ισχύος. Τέλος, στο Κεφάλαιο 8 εξετάζεται ο Αυτόματος Έλεγχος Παραγωγής.