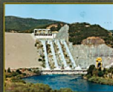


ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ Γ. ΜΠΑΚΙΡΤΖΗ

# 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° χλμ. 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](mailto: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. Μαϊσση 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, Τομέαρχη του Περιφερειακού Τομέα Δικτύου Μεταφοράς Κρήτης-Ρόδου του Κλάδου Δικτύου Μεταφοράς της ΔΕΜ, τον κ. Α. Τασούλη, Υποτομέαρχη Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας, τον κ. Α. Κορονίδη, Τομέαρχη Αναλύσεως Συστήματος της ΔΜΣΠΜ, τον κ. Σ. Βάσσο, Τομέαρχη 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, Υποτομέαρχη 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, Υποτομέαρχη 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	Σαμαρειδή 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
	Βιβλιογραφία.....	373