

Γαβριήλ Β. Γιαννακόπουλος
Καθ. Πανεπιστημίου

Νικόλαος Α. Βοβός
Καθ. Πανεπιστημίου

Πανεπιστήμιο Πατρών
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας



Πρόλογος

Στο βιβλίο αυτό περιλαμβάνεται η ύλη του μαθήματος «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας» που διδάσκεται στους φοιτητές του Γ' έτους σπουδών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών.

Παρόλο που το μάθημα είναι εισαγωγικό και απευθύνεται σε όλους τους φοιτητές του τμήματος ανεξαρτήτως κύκλου σπουδών που θα επιλέξουν, καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε για το μεγαλύτερο μέρος της ύλης το εύρος της παρεχόμενης επιστημονικής γνώσης να είναι το πληρέστερο δυνατόν. Μόνο ένα μικρό τμήμα της ύλης έχει ενημερωτικό χαρακτήρα και παρουσιάζεται με συνοπτικό τρόπο καθόσον αναφέρεται σε θέματα εξειδικευμένα που θα αναπτυχθούν διεξοδικά στα πλαίσια μαθημάτων του κύκλου σπουδών Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας στο τέταρτο κυρίως έτος σπουδών.

Επειδή οι θεμελιώδεις φυσικές έννοιες αποτελούν τη βάση για την δημιουργική άσκηση της επιστήμης του μηχανικού και αποτελούν το πιο πολύτιμο και μόνιμο μέρος μιας εκπαίδευσης μηχανικού, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στις φυσικές έννοιες ενώ συγχρόνως δόθηκε και η οφειλόμενη προσοχή στις μαθηματικές τεχνικές. Καταβλήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια ώστε όλο το υλικό που παρουσιάζεται στο βιβλίο να συνοδεύεται από αντιπροσωπευτικά αριθμητικά παραδείγματα, ώστε αφενός να διευκρινίζονται θεωρητικά θέματα αφετέρου να τονίζονται ιδιαίτερου ενδιαφέροντος τεχνικά θέματα.

Το βιβλίο πραγματεύεται όλο εκείνο το υλικό που είναι απαραίτητο για να δημιουργηθεί το μοντέλο ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας από τη σύνθεση των μοντέλων των επί μέρους συνιστωσών του, για να μπορεί να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Κατά την ανάπτυξη των μοντέλων των διαφόρων συνιστωσών δίνεται όπου είναι δυνατόν χρήσιμη πληροφορία για τον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να υπάρχει μια συνολική εικόνα των λειτουργικών του χαρακτηριστικών.

Η ύλη του βιβλίου χωρίζεται σε εννέα κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγική παρουσίαση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας ξεκινώντας από μια ιστορική ανασκόπηση της εξέλιξής τους και ανα-

φέροντας στη συνέχεια θέματα σχετικά με τις βασικές λειτουργίες τους, τη δομή τους και την παράστασή τους. Στο ίδιο κεφάλαιο δίνονται πληροφοριακά στοιχεία για το ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και συζητούνται θέματα σχετικά με την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση βασικών εννοιών από τη θεωρία κυκλωμάτων που κρίνονται πολύ χρήσιμες για το μηχανικό των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ συγχρόνως εξοικειώνονται οι σπουδαστές με την ορολογία και τους συμβολισμούς που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στη μέθοδο που ακολουθούμε για την ανάλυση κυκλωμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος στη μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση λειτουργίας και διευκρινίζονται πλήρως οι έννοιες της πραγματικής και αέργου ισχύος καθώς και της μιγαδικής ισχύος. Στα πλαίσια αυτού του κεφαλαίου γίνεται επίσης διεξοδική ανάπτυξη της τεχνικής της ανά μονάδα παράστασης των ηλεκτρικών ποσοτήτων.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται διεξοδικά οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν συμβατικές πηγές ενέργειας καθώς και οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η σύγχρονη μηχανή με έμφαση στα μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν τη συμπεριφορά της στη μόνιμη κατάσταση και στα χαρακτηριστικά της που είναι σημαντικά από τη σκοπιά του συστήματος, αυτά, δηλαδή, που καθορίζουν τη συμπεριφορά της όταν αυτή λειτουργεί στα πλαίσια ενός μεγάλου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται ο μετασχηματιστής ισχύος τόσο ο μονοφασικός όσο και οι τριφασικοί και δίνεται έμφαση στη λειτουργία τους στα πλαίσια ενός συστήματος. Στο ίδιο κεφάλαιο συζητούμε για τη λειτουργία των μετασχηματιστών ως συσκευών ελέγχου, αναφερόμενοι στους μετασχηματιστές που διαθέτουν λήψεις για την αλλαγή του λόγου μετασχηματισμού υπό φορτίο καθώς και στους μετασχηματιστές ρύθμισης τάσης που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της τάσης και της ροής ισχύος.

Στο κεφάλαιο 6 παράγονται σχέσεις για τον υπολογισμό των δύο βασικών παραμέτρων της γραμμής μεταφοράς, δηλαδή της εν σειρά επαγωγής L και της εγκάρσιας χωρητικότητας C .

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα μοντέλα των γραμμών μεταφοράς μικρού, μεσαίου και μεγάλου μήκους και μελετώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά μιας γραμμής μεταφοράς που λειτουργεί στα πλαίσια ενός μεγάλου

συστήματος. Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται οι βασικές αρχές για την προκαταρκτική σχεδίαση μιας γραμμής μεταφοράς.

Στο κεφάλαιο 8 αναπτύσσονται τεχνικές για τη δημιουργία του μοντέλου ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας από τη σύνθεση των μοντέλων των επί μέρους συνιστωσών του.

Στο κεφάλαιο 9, τέλος, γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών μελετών που απαιτούνται για την εκτίμηση της συμπεριφορά ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στη μόνιμη όσο και σε μεταβατικές καταστάσεις λειτουργίας.

Θερμές ευχαριστίες οφείλουμε να εκφράσουμε στα μέλη των οικογενειών μας, ιδιαίτερα στις συζύγους μας, για τη συνεχή συμπαράσταση και κατανόησή τους κατά τη διάρκεια ετοιμασίας αυτού του βιβλίου.

Πάτρα, Μάιος 2008

*Γαβριήλ Β. Γιαννακόπουλος
Νικόλαος Α. Βοβός*

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Ιστορική ανασκόπηση.....	15
1.2	Βασικές λειτουργίες συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.....	18
1.3	Δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.....	21
1.4	Παράσταση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.....	25
1.5	Το ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.....	28
1.6	Απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας.....	33

Κεφάλαιο 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

2.1	Γενικά.....	37
2.2	Ανάλυση κυκλώματος στη μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση λειτουργίας	37
2.2.1	Παράσταση ημιτονοειδούς συνάρτησης με φασικό διάνυσμα.....	38
2.2.2	Φασικά διανύσματα και νόμοι του Kirchhoff.....	41
2.2.3	Σύνθετες αντιστάσεις και σύνθετες αγωγιμότητες παθητικών στοιχείων ...	43
2.2.4	Μεθοδολογία επίλυσης κυκλωμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος στη μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση λειτουργίας.....	46
2.3	Ισχύς σε μονοφασικά κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος.....	49
2.3.1	Στιγμιαία ισχύς, πραγματική και άεργος ισχύς.....	50
2.3.2	Μιγαδική ισχύς.....	54
2.4	Συμμετρικά τριφασικά κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος.....	61
2.4.1	Τάσεις και ρεύματα σε συμμετρικά τριφασικά κυκλώματα.....	63
2.4.2	Ανά φάση ανάλυση συμμετρικού τριφασικού κυκλώματος.....	67
2.4.3	Ισχύς σε συμμετρικά τριφασικά κυκλώματα.....	69
2.5	Το ανά μονάδα σύστημα.....	74
2.5.1	Ανά μονάδα σύστημα τριφασικών συστημάτων.....	77
2.5.2	Σχέσεις μεταξύ των ανά μονάδα τιμών τριφασικών και μονοφασικών ποσοτήτων.....	79

2.5.3	Αλλαγή βάσεων	80
2.5.4	Επιλογή βάσεων τάσης και ισχύος	81
2.5.5	Επίλυση συμμετρικού τριφασικού δικτύου με το ανά μονάδα σύστημα	81

Κεφάλαιο 3

ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1	Εισαγωγή	87
3.2	Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί	88
3.2.1	Συμπαγωγή	92
3.3	Αεριοστροβιλικόι σταθμοί	92
3.4	Σταθμοί συνδυασμένου κύκλου	93
3.5	Ντιζεληλεκτρικοί σταθμοί	95
3.6	Υδροηλεκτρικοί σταθμοί	95
3.6.1	Παλιρροιακοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί	102
3.7	Πυρηνικοί σταθμοί	102
3.8	Μαγνητοϋδροδυναμική παραγωγή (ΜΥΔ)	107
3.9	Μη συμβατικές πηγές ενέργειας	108
3.10	Αιολική ενέργεια	111
3.11	Ηλιακή ενέργεια	113
3.12	Ενέργεια από βιομάζα	115
3.13	Γεωθερμική ενέργεια	116
3.14	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ	117
3.15	Αποθήκευση ενέργειας	118
3.16	Φορτία	122

Κεφάλαιο 4

Η ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΜΗΧΑΝΗ

4.1	Εισαγωγή	125
4.2	Περιγραφή της σύγχρονης μηχανής	126
4.3	Επαγωγικές παράμετροι σύγχρονης μηχανής	129
4.4	Εξισώσεις τάσης σύγχρονης μηχανής	133
4.5	Ο μετασχηματισμός Park	135
4.5.1	Μετασχηματισμός εξισώσεων πεπλεγμένων ροών	137
4.5.2	Μετασχηματισμός εξισώσεων τάσης	139
4.5.3	Μετασχηματισμός εξίσωσης στιγμιαίας ισχύος	142
4.6	Σχέση φασικού διανύσματος και d -, q - συνιστωσών	144

4.7 Μοντέλα μηχανής στη μόνιμη κατάσταση.....	146
4.8 Πραγματική και άεργος ισχύς μηχανής.....	153
4.9 Έλεγχος πραγματικής και άεργου ισχύος σύγχρονης μηχανής	159
4.10 Σύγχρονισμός γεννήτριας σε δίκτυο.....	163
4.11 Καμπύλες ικανότητας φόρτισης γεννητριών	166
4.12 Μεταβατική συμπεριφορά σύγχρονης μηχανής	169

Κεφάλαιο 5

Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

5.1 Εισαγωγή.....	175
5.2 Χαρακτηριστικά μετασχηματιστών ισχύος	176
5.3 Σύντομη ανασκόπηση μαγνητικών κυκλωμάτων	178
5.4 Ο μονοφασικός μετασχηματιστής δυο τυλιγμάτων	180
5.4.1 Ο ιδανικός μετασχηματιστής	182
5.4.2 Ο πραγματικός μετασχηματιστής.....	184
5.4.3 Προσεγγιστικά ισοδύναμα κυκλώματα μετασχηματιστή	187
5.4.4 Ανά μονάδα ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή.....	191
5.4.5 π-ισοδύναμο μετασχηματιστή.....	192
5.5 Τριφασικοί μετασχηματιστές.....	193
5.5.1 Ο μιγαδικός ιδανικός μετασχηματιστής	195
5.5.2 Μονοφασικά ισοδύναμα πραγματικών τριφασικών μετασχηματιστών	197
5.6 Παράλληλη σύνδεση μετασχηματιστών	202
5.7 Μετασχηματιστές πολλών τυλιγμάτων	206
5.8 Αυτομετασχηματιστές	211
5.9 Ο μετασχηματιστής ως συσκευή ελέγχου.....	213
5.9.1 Μετασχηματιστές με μεταβλητό λόγο μετασχηματισμού	213
5.9.2 Μετασχηματιστές ρύθμισης τάσης.....	216

Κεφάλαιο 6

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

6.1 Εισαγωγή.....	221
6.2 Τύποι αγωγών	222
6.3 Εν σειρά αντίσταση γραμμής μεταφοράς	224
6.4 Επαγωγή γραμμής μεταφοράς	225
6.4.1 Πεπλεγμένη ροή αγωγού που ανήκει σε ομάδα παράλληλων αγωγών – Επαγωγή αγωγών	226

6.4.2	Επαγωγή τριφασικής γραμμής με ισαπέχουσες φάσεις.....	231
6.4.3	Επαγωγή τριφασικής γραμμής με μη ισαπέχουσες φάσεις – Αντιμετάθεση φάσεων.....	232
6.4.4	Επαγωγή τριφασικής γραμμής με ισαπέχουσες φάσεις που αποτελούνται από αγωγούς δέσμης	234
6.4.5	Επαγωγή τριφασικής γραμμής με μη ισαπέχουσες φάσεις που αποτελούνται από αγωγούς δέσμης.....	236
6.4.6	Επαγωγή τριφασικής γραμμής διπλού κυκλώματος	238
6.5	Χωρητικότητα γραμμής μεταφοράς	240
6.5.1	Δυναμικό αγωγού που ανήκει σε ομάδα παράλληλων αγωγών – Χωρητικότητα αγωγών	242
6.5.2	Επίδραση της γης στη χωρητικότητα αγωγών – Η μέθοδος των ειδώλων.....	245
6.5.3	Χωρητικότητα τριφασικής γραμμής με ισαπέχουσες φάσεις	247
6.5.4	Χωρητικότητα τριφασικής γραμμής με μη ισαπέχουσες φάσεις.....	248
6.5.5	Χωρητικότητα τριφασικής γραμμής με μη ισαπέχουσες φάσεις που αποτελούνται από αγωγούς δέσμης	249
6.5.6	Χωρητικότητα τριφασικής γραμμής διπλού κυκλώματος.....	250

Κεφάλαιο 7

ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

7.1	Εισαγωγή.....	253
7.2	Εξισώσεις τάσης και ρεύματος σε γραμμή μεταφοράς.....	254
7.3	Ισοδύναμο κύκλωμα γραμμής μεταφοράς	259
7.4	Προσεγγιστικά ισοδύναμα κυκλώματα γραμμής μεταφοράς	260
7.5	Γραμμή χωρίς απώλειες – Φυσικό φορτίο.....	265
7.6	Ισχύς μέσω γραμμής μεταφοράς – Κυκλικά διαγράμματα ισχύος	268
7.6.1	Ισχύς μέσω γραμμής μεταφοράς μεσαίου ή μεγάλου μήκους	269
7.6.2	Ισχύς μέσω γραμμής μεταφοράς μικρού μήκους.....	274
7.6.3	Ισχύς μέσω ακτινικής γραμμής μεταφοράς μικρού μήκους.....	276
7.7	Ικανότητα φόρτισης γραμμών μεταφοράς	280
7.7.1	Θερμικό όριο μεταφοράς ισχύος	281
7.7.2	Στατικό όριο ευστάθειας γραμμής μεταφοράς.....	281
7.7.3	Τρόποι αύξησης του στατικού ορίου ευστάθειας – Σειριακή χωρητική αντιστάθμιση γραμμών.....	284
7.8	Ρύθμιση τάσης γραμμής μεταφοράς – Εγκάρσια αντιστάθμιση	288
7.9	Μεταφορά με συνεχές ρεύμα	293

Κεφάλαιο 8

ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

8.1	Εισαγωγή.....	297
8.2	Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα συστήματος	298
8.3	Ανά μονάδα μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα συστήματος.....	302

Κεφάλαιο 9

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

9.1	Εισαγωγή.....	309
9.2	Διασυνδεδεμένα ΣΗΕ και ανάλυση τους	309
9.3	Ανάλυση ροής φορτίου.....	312
9.4	Οικονομική λειτουργία ΣΗΕ	314
9.5	Βραχυκυκλώματα και προστασία ΣΗΕ.....	316
9.6	Ευστάθεια ΣΗΕ	318
9.7	Αστάθεια τάσης στα ΣΗΕ.....	320
9.8	Συνεισφορά των υπολογιστών στην ανάλυση ΣΗΕ.....	325
9.9	Ο μηχανικός των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας	325
	Βιβλιογραφία.....	327

1^ο

Κεφάλαιο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Πριν το 1800, η γνώση γύρω από τον ηλεκτρισμό περιοριζόταν κυρίως στις μελέτες των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων που είχαν γίνει από κάποιους πρωτοπόρους ερευνητές. Αν και σημαντικές νέες ανακαλύψεις, που έγιναν τα επόμενα χρόνια, πρόσθεταν συνεχώς και νέα γνώση στο αντικείμενο του ηλεκτρισμού, εφαρμογές που να οδηγούν σε εκμετάλλευση αυτών των ανακαλύψεων εμφανίστηκαν αρκετά αργότερα. Η πρώτη εμπορική χρήση του ηλεκτρισμού άρχισε γύρω στο 1870, όταν χρησιμοποιήθηκαν οι λαμπτήρες τόξου για φωτισμό οικιών και οδών.

Το πρώτο πλήρες ηλεκτρικό σύστημα, αποτελούμενο από γεννήτρια, καλώδιο, ασφάλεια, μετρητή και φορτία, ήταν αυτό που εγκαταστάθηκε από τον *Thomas Edison* στην πόλη της Νέας Υόρκης, ο ιστορικός σταθμός της *Pearl Street* που τέθηκε σε λειτουργία το 1882. Αυτό ήταν ένα σύστημα *συνεχούς ρεύματος* (dc) που αποτελούνταν από μία ατμομηχανή που κινούσε μία γεννήτρια συνεχούς και τροφοδοτούσε με ηλεκτρική ενέργεια 59 καταναλωτές σε μία περιοχή ακτίνας 1.5 km. Τα φορτία, που ήταν αποκλειστικά λαμπτήρες πυρακτώσεως, τροφοδοτούνταν σε μια τάση 110 V μέσω υπόγειου καλωδίου. Πολύ σύντομα αντίστοιχα συστήματα λειτούργησαν στις περισσότερες μεγαλουπόλεις σε όλον τον κόσμο. Το τεχνικό πρόβλημα που αντιμετώπιζαν αυτά τα πρώτα ηλεκτρικά συστήματα, ήταν ότι παρέμεναν ανενεργά, ή τουλάχιστον υπολειπόμενα, κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, καθώς υπήρχε έλλειψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Θα έπρεπε, συνεπώς, να έρθει μία άλλη εφαρμογή για να καλύψει αυτήν την έλλειψη ζήτησης. Με την ανάπτυξη των *κινητήρων*, η ηλεκτρική κινητήρια ισχύς κατέστη γρήγορα πολύ δημοφι-

λής και χρησιμοποιήθηκε σε πολλές εφαρμογές, λύνοντας ταυτόχρονα το τεχνικό πρόβλημα της έλλειψης ζήτησης που προαναφέρθηκε. Με τα πρώτα αυτά συστήματα, λοιπόν, ξεκίνησε αυτό που έμελλε να εξελιχθεί σε μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες στον κόσμο.

Παρά την αρχική ευρεία χρήση των συστημάτων συνεχούς ρεύματος, αυτά πολύ γρήγορα αντικαταστάθηκαν πλήρως από τα συστήματα *εναλλασσόμενου ρεύματος* (ac). Ο λόγος ήταν προφανής. Τα συστήματα συνεχούς δεν είχαν τη δυνατότητα να μεταφέρουν ισχύ σε μεγάλες αποστάσεις, διότι για να γίνει κάτι τέτοιο και συγχρόνως να κρατηθούν οι απώλειες μεταφοράς RI^2 και οι πτώσεις τάσης σε αποδεκτά επίπεδα, έπρεπε τα επίπεδα τάσης να είναι υψηλά. Υψηλές, όμως, τάσεις δεν ήταν αποδεκτές ούτε για την παραγωγή ούτε για την κατανάλωση επειδή δεν το επέτρεπε η τεχνολογία της εποχής αλλά και η ασφάλεια των καταναλωτών. Η λύση, συνεπώς, θα ήταν να μεταφερόταν η ισχύς σε μεγάλες αποστάσεις υπό υψηλότερη τάση, η οποία στη συνέχεια θα μειωνόταν σε χαμηλότερες τιμές στις θέσεις όπου υπήρχαν τα φορτία. Η σχεδίαση και η ανάπτυξη μιας συσκευής που θα *μετασχημάτιζε* στα επιθυμητά επίπεδα τάση και ρεύμα πρόβαλε πλέον σαν επιτακτική ανάγκη.

Η ανάπτυξη του *μετασχηματιστή* οδήγησε στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών δικτύων εναλλασσόμενου ρεύματος, τα οποία έγιναν ακόμη πιο ελκυστικά με την ανάπτυξη των *πολυφασικών συστημάτων* από τον *Nikola Tesla*. Οι πρωτοποριακές για την εποχή εφευρέσεις του τελευταίου όσον αφορά τους κινητήρες εναλλασσόμενου, τις γεννήτριες, τους μετασχηματιστές και τα συστήματα μεταφοράς αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη των σημερινών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη διαμάχη που είχε ξεσπάσει ανάμεσα στους οπαδούς του συνεχούς και τους οπαδούς του εναλλασσόμενου για το ποιο σύστημα θα έπρεπε να τυποποιηθεί, οι οπαδοί του εναλλασσόμενου υπερίσχυσαν. Με την αυγή του νέου αιώνα, το εναλλασσόμενο σύστημα επικράτησε του συνεχούς για τους εξής λόγους :

- Ο μετασχηματιστής παρέσχε τη ζητούμενη δυνατότητα να μεταβάλλονται εύκολα τα επίπεδα τάσης και να χρησιμοποιούνται έτσι διαφορετικά επίπεδα τάσης, για την *παραγωγή*, τη *μεταφορά* και τη *διανομή* της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ήταν πολύ πιο *απλές* από τις γεννήτριες συνεχούς.
- Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ήταν *απλούστεροι* και *φθηνότεροι* από τους κινητήρες συνεχούς.

Με την επικράτηση του εναλλασσόμενου ρεύματος, άρχισε η ανάπτυξη των *τοπικών ηλεκτροπαραγωγών σταθμών*, οι οποίοι, με συστήματα μεταφοράς και διανομής που εκτείνονταν μέχρι τα όρια δράσης τους, εξυπηρετούσαν το φορτίο στενών γεωγραφικών περιοχών. Πολύ σύντομα γειτονικά τέτοια συστήματα άρχισαν να *διασυνδέονται*, ώστε να μπορούν να ανταλλάσσουν ενέργεια και να ικανοποιούν στη βάση της αμοιβαιότητας φορτία αιχμής, όχι κατ' ανάγκη σε ταυτοχρονισμό, που μόνα τους θα ήταν αδύνατον να ικανοποιηθούν. Με τέτοιου είδους διασυνδέσεις εξάλλου γινόταν καλύτερη εκμετάλλευση του εξοπλισμού κάθε συστήματος. Για να μπορέσουν βέβαια να συνδεθούν μεταξύ τους αυτά τα συστήματα έπρεπε προηγουμένως να λυθεί το τεχνικό πρόβλημα της *τυποποίησης της συχνότητας*, επειδή υπήρχαν συστήματα που λειτουργούσαν σε διαφορετικές συχνότητες, όπως 25, 50, 60 και 133 Hz. Στην Ευρώπη και στη χώρα μας η συχνότητα τυποποιήθηκε στα 50 Hz, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες, στον Καναδά, στη Βραζιλία και σε μέρος της Ιαπωνίας η τυποποίηση έγινε στα 60 Hz.

Η αυξανόμενη ανάγκη για μεταφορά όλο και μεγαλύτερων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, έδρασε σαν κίνητρο για τη χρήση προοδευτικά όλο και υψηλότερων επιπέδων τάσης. Ενώ στα πρώτα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος τα επίπεδα τάσης ήταν 12, 44 και 60 kV, ανήλθαν στα 165 kV το 1922, στα 220 kV το 1923, στα 287 kV το 1935, στα 350 kV το 1953, στα 500 kV το 1965 και στα 765 kV το 1966. Για να αποφευχθεί η εξάπλωση ενός απεριόριστου αριθμού από επίπεδα τάσης, γεγονός που θα προκαλούσε σημαντικά προβλήματα στην τυποποίηση του εξοπλισμού, η βιομηχανία επέλεξε κάποια επίπεδα τάσης ως στάνταρ. Αυτά είναι 115, 132, 138, 150, 161, 220, 230 και 275 kV για τη βαθμίδα των *υψηλών* τάσεων και 345, 400, 500 και 765 kV για τη βαθμίδα των *υπερυψηλών* τάσεων.

Με την πάροδο των ετών, η βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ξαπλωνόταν ραγδαία. Οι τεχνολογικές πρόοδοι που επιτυγχάνονταν στη σχεδίαση των διαφόρων συνιστωσών των ενεργειακών συστημάτων ενσωματώνονταν σε κάθε νέα συνιστώσα που εγκατασταινόταν, με αποτέλεσμα γρήγορη αναβάθμιση του εξοπλισμού. Στις ημέρες μας, η βιομηχανία ηλεκτρικής ισχύος, σε συνδυασμό με τις άμεσα σχετιζόμενες εταιρίες που κατασκευάζουν πάσης φύσεως ηλεκτρολογικό εξοπλισμό αλλά και ηλεκτρικές συσκευές, κατέστη μία από τις μεγαλύτερες στον κόσμο. Το μέλλον θα απαιτεί συνεχείς επίπονες επιδόσεις των ενεργειακών μηχανικών για βελτίωση των ήδη υπάρχοντων τεχνολογιών και την ανάπτυξη νέων καινοτόμων τεχνολογιών, ώστε να καλύπτονται χωρίς σημαντικές καθυστερήσεις οι ραγδαία αυξανόμενες ανάγκες της κοινωνίας μας σε ηλεκτρική ενέργεια.

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων (γεννήτριες, μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς, διακόπτες, διατάξεις αντιστάθμισης) που χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτηθεί με ηλεκτρική ενέργεια ένα σύνολο καταναλωτών. Για να φέρει σε πέρας αυτήν την αποστολή, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτει:

- *Σταθμούς παραγωγής*, εγκατεστημένους στις πιο πρόσφορες προς τούτο περιοχές, όπου παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια σε επαρκείς ποσότητες.
- *Γραμμές μεταφοράς*, που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στα κέντρα κατανάλωσης.
- *Δίκτυο διανομής*, για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους επιμέρους καταναλωτές, ώστε να χρησιμοποιηθεί από αυτούς μετατρεπόμενη σε άλλες πιο εξυπηρετικές μορφές, όπως φως, θερμότητα, κίνηση, ήχο κ.λ.π.

Για να είναι πρακτικό ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να σχεδιαστεί και να λειτουργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι *ασφαλές, αξιόπιστο, φιλικό προς το περιβάλλον και να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια καλής ποιότητας στη χαμηλότερη κατά το δυνατόν τιμή.*

Παραδοσιακά τρεις είναι οι βασικές λειτουργίες που συνιστούν τη συνολική λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας : *η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.*

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους *σταθμούς παραγωγής*, οι οποίοι, ανάλογα με την πηγή πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούν, διακρίνονται σε *ατμοηλεκτρικούς (ΑΗΣ), υδροηλεκτρικούς (ΥΗΣ) και πυρηνικούς (ΠΣ)*. Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια η χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο καύσιμο (κάρβουνο, λιγνίτη, φυσικό αέριο, πετρέλαιο). Με την καύση του καυσίμου απελευθερώνεται *θερμική ενέργεια*, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού στο λέβητα. Ο ατμός διχοθεύεται στον *ατμοστρόβιλο* όπου παρέχει μέρος της ενέργειάς του σε *μηχανική μορφή*. Ο στρόβιλος με τη σειρά του περιστρέφει τη γεννήτρια όπου η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια η *δυναμική ενέργεια* των υδάτων. Στους πυρηνικούς σταθμούς ο ελεγχόμενος πυρηνικός αντιδραστήρας αντικαθι-

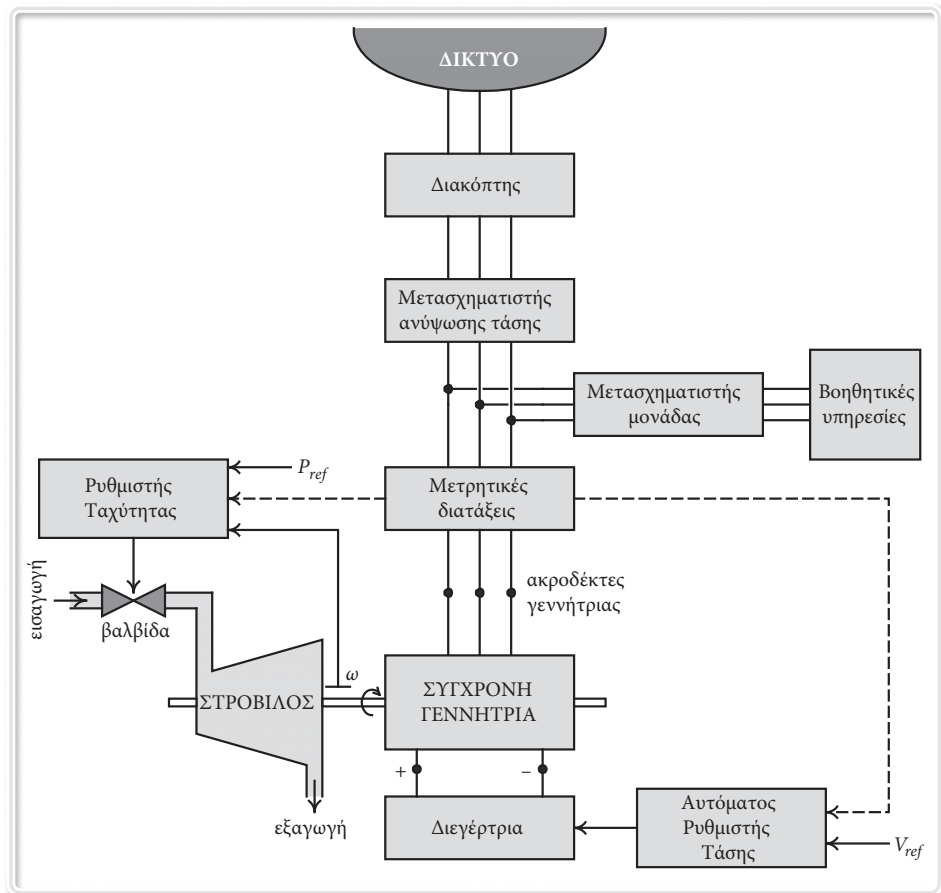
στά το συμβατικό λέβητα σαν πηγή θερμικής ενέργειας. Η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία της *σχάσης* χρησιμοποιείται για την κίνηση μιας ηλεκτρικής γεννήτριας ατμού. Σε μικρότερες, βέβαια, ποσότητες είναι δυνατόν να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από τον *άνεμο, τη γεωθερμία ή την ηλιακή ενέργεια*.

Οι απαιτήσεις σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αυξηθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες κατά τρόπο ραγδαίο. Οι μελλοντικές απαιτήσεις αναμένονται ακόμα μεγαλύτερες καθόσον το ποσοστό της μη ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται διεθνώς συνεχώς μειώνεται προς όφελος της ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζεται λοιπόν φανερή η ανάγκη να γίνει αφενός πληρέστερη εκμετάλλευση των υπάρχοντων συμβατικών πηγών πρωτογενούς ενέργειας, αφετέρου να αναζητηθούν νέες πηγές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πρακτικά το σύνολο σχεδόν της παραγόμενης σήμερα ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνεται από *περιστρεφόμενες* γεννήτριες (ισχύος από 100 kW μέχρι πάνω από 1300 MW και τάσης λειτουργίας από 480 V μέχρι 25 kV), οπότε το τελευταίο βήμα της μετατροπής ενέργειας που λαμβάνει χώρα σε σταθμούς παραγωγής είναι από μηχανική σε ηλεκτρική ενέργεια. Εντατική πάντως έρευνα γίνεται για την ανάπτυξη μεθόδων *άμεσης* μετατροπής ενέργειας, χωρίς δηλαδή τη μεσολάβηση του ενδιάμεσου βήματος της μηχανικής ενέργειας. Παρόλο που αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές άμεσης μετατροπής ενέργειας (θερμοηλεκτρική, θερμοιονική, μαγνητουδροδυναμική κ.α.) αυτές έχουν βρει εφαρμογές μόνο σε περιοχές που απαιτείται περιορισμένη παραγωγή ενέργειας. Θα έλεγε κανείς ότι είναι μάλλον αμφίβολο αν θα μπορούσαν αυτές οι μέθοδοι να αντικαταστήσουν σε μεγάλη κλίμακα τη χρήση των συμβατικών γεννητριών.

Η τυπική δομή μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται σχηματικά στο διάγραμμα του Σχ. 1.1. Ο στρόβιλος είναι εφοδιασμένος με *ρυθμιστή* που ελέγχει ή την ταχύτητα περιστροφής ή την ισχύ εξόδου σύμφωνα με κάποια προκαθορισμένη χαρακτηριστική *ισχύος-συχνότητας*. Η παραγόμενη ισχύς παρέχεται στο δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Το συνεχές *ρεύμα διέγερσης*, που απαιτείται για να παραχθεί το *μαγνητικό πεδίο* εντός της γεννήτριας, παρέχεται από τη *διεγέρτρια*. Το ρεύμα διέγερσης, και συνεπώς η τερματική τάση της γεννήτριας, ελέγχονται από *αυτόματο ρυθμιστή τάσης*. Ο μετασχηματιστής μονάδας τροφοδοτεί τα βοηθητικά φορτία του σταθμού παραγωγής, όπως κινητήρες, αντλίες, φωτισμό κ.λ.π.

Είναι προφανές ότι η καλύτερη θέση εγκατάστασης των σταθμών παραγωγής θα ήταν κοντά στα *κέντρα κατανάλωσης*, στις περιοχές, δηλαδή, όπου υπάρχει η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι θέσεις, όμως, όπου είναι διαθέσιμη η



Σχήμα 1.1 Σχηματικό διάγραμμα μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

πρωτογενής μορφή ενέργειας που θα μετατραπεί σε ηλεκτρική, δεν συμπίπτουν κατ' ανάγκη με τις θέσεις των κέντρων κατανάλωσης. Τίθεται, λοιπόν, το δίλημμα: να εγκατασταθούν οι σταθμοί παραγωγής κοντά στις πηγές ενέργειας και να μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια στα κέντρα κατανάλωσης ή να εγκατασταθούν οι σταθμοί παραγωγής κοντά στα κέντρα κατανάλωσης και να μεταφέρεται το καύσιμο;

Η επιλογή της θέσης ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού, που καταναλώνει συμβατικό καύσιμο, κοντά στην περιοχή εξόρυξης του καυσίμου ή κοντά σε κέντρο κατανάλωσης, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει καλή παροχή νερού σε αμφοτέρως τις θέσεις, εξαρτάται από τη διαφορά κόστους που υπάρχει ανάμεσα στη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας και στη μεταφορά του καυσίμου από το ορυχείο

στον τόπο εγκατάστασης του σταθμού. Οι αγωγοί μεταφοράς πετρελαίου ή φυσικού αερίου, για παράδειγμα, προτιμούνται πολύ διότι προσφέρουν χαμηλού κόστους μεταφορά καυσίμου. Παράγοντες που επίσης συνεκτιμούνται είναι κυρίως *τεχνικοί και περιβαλλοντολογικοί*. Για τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς δεν υπάρχουν μεγάλα περιθώρια επιλογής του τόπου εγκατάστασης. Οι σταθμοί αυτοί εγκαθίστανται εκεί όπου είναι διαθέσιμο το *υδάτινο δυναμικό*. Οι πυρηνικοί σταθμοί εγκαθίστανται κυρίως κοντά στα κέντρα κατανάλωσης επειδή δεν δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και το κόστος μεταφοράς καυσίμου είναι μικρό, αν και τα τελευταία χρόνια, λόγω των πυρηνικών ατυχημάτων που συνέβησαν, υπάρχουν σημαντικές αντιδράσεις οικολογικών κυρίως οργανώσεων για την εγκατάσταση νέων πυρηνικών σταθμών κοντά στα αστικά κέντρα.

Όποτε, λοιπόν, παρίσταται ανάγκη μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις αυτή γίνεται μέσω των γραμμών μεταφοράς, που μπορεί να είναι *εναέριες* ή σπανιότερα *υπόγειες*. Επειδή, όπως θα δούμε αργότερα, το επίπεδο τάσης των γραμμών μεταφοράς καθορίζει το όριο της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν αυτές να μεταφέρουν, η επίτευξη υψηλών τάσεων μεταφοράς έκανε δυνατή τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Ανάλογα με το επίπεδο της τάσης μεταφοράς επιτυγχάνονται *χωρητικότητες* των γραμμών μεταφοράς που εκτείνονται από 100 MW μέχρι και πάνω από 4000 MW.

Η διανομή, τέλος, της ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και τον πιο απομακρυσμένο μικρό ή μεσαίο καταναλωτή γίνεται με ένα πυκνό δίκτυο διανομής μέσης και χαμηλής τάσης.

1.3 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

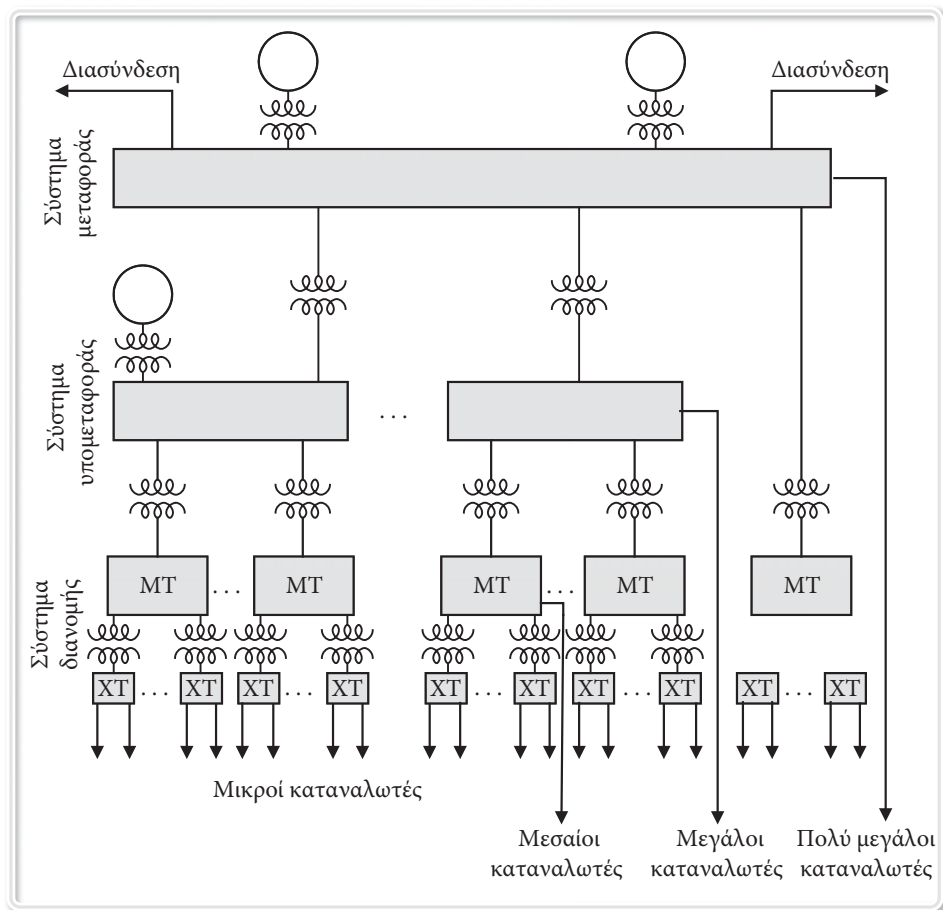
Και το μικρότερο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα δίκτυο με πολύ μεγάλη πολυπλοκότητα. Ο παράγοντας που κυρίως καθορίζει τη δομή του είναι το *μέγεθός* του. Άλλη είναι η δομή ενός μεγάλου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που εξυπηρετεί μία εκτεταμένη γεωγραφική περιοχή και άλλη η δομή ενός μικρού συστήματος που εξυπηρετεί μία μικρή περιοχή. Δεν υπάρχουν γενικοί κανόνες όσον αφορά τον τρόπο δόμησης ενός συστήματος που να εφαρμόζονται σε όλα τα συστήματα. Το κάθε σύστημα δομείται με βάση τις *ιδιαιτερότητες* που καλείται να εξυπηρετήσει. Όλα τα συστήματα, όμως, παρουσιάζουν την εξής ο-

μοιότητα : εργάζονται σε διάφορα επίπεδα τάσης που χωρίζονται μεταξύ τους με μετασχηματιστές.

Είναι κοινή πρακτική να διαιρούμε, με βάση την τάση λειτουργίας, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας σε τρία υποσυστήματα. Ξεκινώντας από το χαμηλότερο επίπεδο τάσης, διακρίνουμε τα εξής υποσυστήματα :

1. Σύστημα διανομής
2. Σύστημα υπομεταφοράς
3. Σύστημα μεταφοράς

Στο σχήμα 1.2 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο δομείται ένα τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 1.2 Δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο σύστημα διανομής χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα τάσης διανομής :

- α) η *πρωτεύουσα* τάση ή τάση *τροφοδοσίας* (π.χ. 15 kV) που χαρακτηρίζεται και *μέση* τάση (MT)
- β) η *δευτερεύουσα* τάση ή τάση *κατανάλωσης* (π.χ. 220 V) που χαρακτηρίζεται και *χαμηλή* τάση (XT)

Το σύστημα διανομής περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης και τους μετασχηματιστές διανομής με τους οποίους η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Το σύστημα διανομής τροφοδοτείται από τους *υποσταθμούς διανομής* (όπου η τάση υποβιβάζεται στην τιμή της μέσης τάσης διανομής) και παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε μικρούς οικιακούς καταναλωτές (υπό τη χαμηλή τάση διανομής) και σε μεσαίου μεγέθους καταναλωτές (υπό τη μέση τάση διανομής). Τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης στις αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές είναι κατά κανόνα υπόγεια, ενώ στις άλλες περιοχές είναι εναέρια. Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται σε μία τεχνολογία που καλύπτει ποικίλα και σημαντικά τεχνικά προβλήματα, όπως εγκατάσταση και συντήρηση εναέριων γραμμών και υπογείων καλωδίων, μετρητικές διατάξεις, διακόπτες, ασφάλειες κ.λ.π. Ένα τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να έχει μέχρι και το ήμισυ του επενδυσμένου κεφαλαίου του στο δίκτυο διανομής.

Το σύστημα υπομεταφοράς διανέμει ηλεκτρική ενέργεια σε έναν αριθμό υποσταθμών διανομής που βρίσκονται σε κάποια γεωγραφική περιοχή σε ένα επίπεδο τάσης που τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 23 kV και 150 kV. Αυτό δέχεται την ενέργεια είτε κατευθείαν από σταθμούς παραγωγής είτε από το σύστημα μεταφοράς μέσω *υποσταθμών* (*ζεύξεως ή/και μετασχηματισμού*). Μεγάλοι καταναλωτές είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν κατευθείαν από το σύστημα υπομεταφοράς. Ο ρόλος ενός συστήματος υπομεταφοράς είναι κυρίως ο ίδιος με εκείνον ενός συστήματος διανομής με μόνη τη διαφορά ότι αυτό εξυπηρετεί μία μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή και διανέμει ενέργεια σε μεγαλύτερα επίπεδα τάσης και ισχύος. Θα πρέπει να τονιστεί ότι σε πολλά συστήματα δεν υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ των δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς. Τα δίκτυα υπομεταφοράς του σήμερα είναι κατά κανόνα τα δίκτυα μεταφοράς του χθες, τα οποία λόγω της αύξησης της διάστασης του συστήματος καλούνται να επιτελέσουν πλέον ένα ρόλο διαφορετικό από εκείνον που επιτελούσαν μέχρι τώρα. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος υπομεταφοράς είναι οι περισσότερες γραμμές μεταφοράς, το μικρότερο μήκος αυτών και η μικρότερη ισχύς που διακινούν.

Το σύστημα μεταφοράς διαφέρει και ως προς τη λειτουργία και ως προς τα χαρακτηριστικά από τα συστήματα διανομής και υπομεταφοράς. Ενώ τα δύο τελευταία συστήματα μεταφέρουν ενέργεια από μία πηγή προς τα επιμέρους φορ-

τία, το σύστημα μεταφοράς αφενός χειρίζεται μεγαλύτερα ποσά ισχύος αφετέρου διασύνδει όλους τους σταθμούς παραγωγής και όλα τα σημεία μεγάλης κατανάλωσης του συστήματος. Η ενέργεια μπορεί να διακινηθεί προς *κάθε επιθυμητή κατεύθυνση* μέσω των διαφόρων γραμμών του συστήματος μεταφοράς και μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη οικονομικά λειτουργία του συστήματος. Το σύστημα μεταφοράς δέχεται την ενέργεια κατευθείαν από σταθμούς παραγωγής μέσω μετασχηματιστών ανύψωσης της τάσης και είναι δυνατόν να εξυπηρετεί κατευθείαν πολύ μεγάλους καταναλωτές και να ανταλλάσσει, μέσω διασυνδετικών γραμμών, ενέργεια με άλλα γειτονικά ενεργειακά συστήματα.

Η βασική διαφορά στο σκοπό που εξυπηρετεί το σύστημα μεταφοράς, συγκρινόμενο με τα συστήματα διανομής και υπομεταφοράς, φαίνεται στον τρόπο δόμησης των δικτύων. Ενώ τα δύο τελευταία έχουν γενικά (όχι όμως πάντοτε) *ακτινική δομή*, επειδή σκοπεύουν στο να διοχετεύουν την ηλεκτρική ενέργεια σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, το σύστημα μεταφοράς έχει δομή *βρόχου* και συνεπώς είναι σε θέση να διοχετεύει την ενέργεια σε μεγαλύτερο συνδυασμό κατευθύνσεων και να εξυπηρετεί έτσι καλύτερα το σκοπό της μεταφοράς.

Παρόλο που η σχεδίαση και η λειτουργία των συστημάτων διανομής και υπομεταφοράς παρουσιάζει σπουδαία και ενδιαφέροντα τεχνικά προβλήματα, εν τούτοις στα πλαίσια αυτών των μαθημάτων δεν θα ασχοληθούμε καθόλου με αυτά. Θα συγκεντρώσουμε την προσοχή μας κυρίως στα προβλήματα που εμφανίζονται στο σύστημα μεταφοράς, που είναι και τα σπουδαιότερα από άποψη μελέτης συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Θα αναφερθούμε εδώ στα προβλήματα που σχετίζονται με τον έλεγχο μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας που διακινείται σε αυτό το σύστημα τόσο κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας όσο και κατά τη διάρκεια σφαλμάτων.

Όταν σχεδιάζουμε ένα σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας μια σειρά *περιορισμών*, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι :

- Το ήδη υπάρχον σύστημα.
- Η γεωγραφική θέση των κέντρων κατανάλωσης που υπάρχουν τώρα αλλά και αυτών που σχεδιάζονται για το μέλλον.
- Η κατάλληλη γεωγραφική θέση των σταθμών παραγωγής.

Η ανάπτυξη ενός συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι μία βαθμιαία αυξητική διαδικασία. Πρέπει πάντοτε να βασίζουμε τη σχεδίαση νέων διασυνδέσεων στις τεκμηριωμένες προβλέψεις αύξησης του πληθυσμού ή της βιο-

μηχανικής ανάπτυξης μιας περιοχής. Μέσα στα πλαίσια των υπαρχόντων περιορισμών και μετά τη λήψη αποφάσεων οικονομικής και συχνά πολιτικής φύσης για την επέκταση ενός συστήματος, ο μηχανικός των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας καλείται να εκπονήσει τα τελικά σχέδια λαμβάνοντας υπ' όψιν όλους τους τεχνοοικονομικούς και οικολογικούς παράγοντες.

1.4 ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι βασικοί παράγοντες που καθιστούν δύσκολη την παράσταση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι εξής:

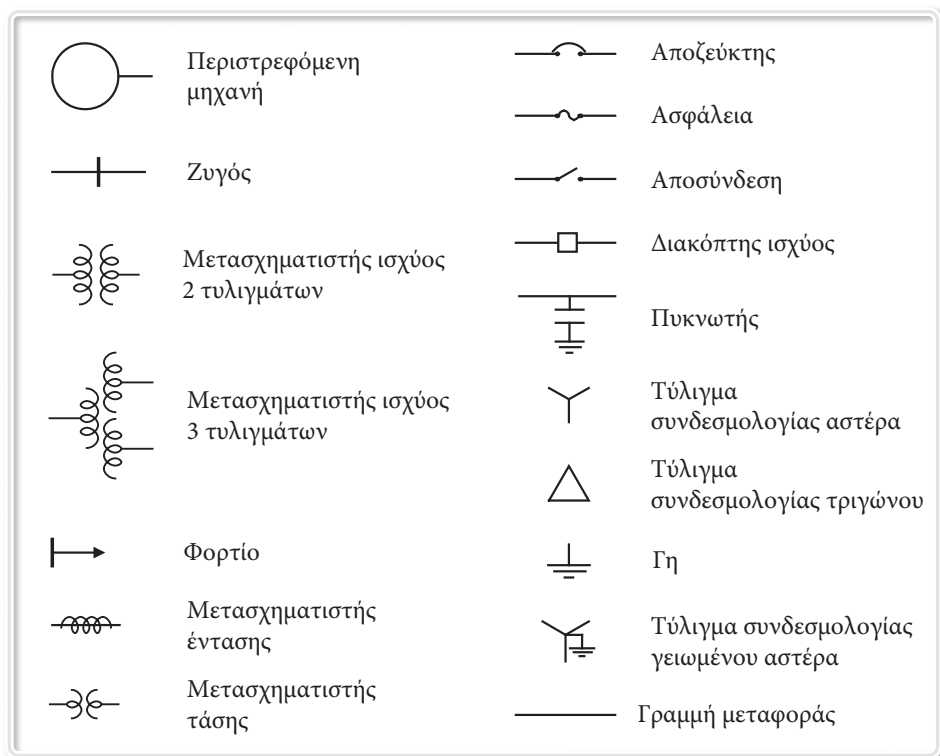
- Τα ενεργειακά συστήματα είναι *τριφασικά*.
- Τα ενεργειακά συστήματα είναι *πολύπλοκα* λόγω του μεγάλου αριθμού των συστατικών που έχουν, όπως γεννήτριες, γραμμές μεταφοράς και μετασχηματιστές.
- Οι μετασχηματιστές χωρίζουν το σύστημα σε πολλά τμήματα με διαφορετικά επίπεδα τάσης.

Η μέθοδος, συνεπώς, που θα χρησιμοποιηθεί για την παράσταση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν αυτούς τους παράγοντες και να ελαχιστοποιεί κατά το δυνατόν την πολυπλοκότητα που αυτοί εισάγουν.

Η βασική εικόνα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι το *μονογραμμικό του διάγραμμα*. Αυτό δείχνει με μια απλή γραμμή τη μορφή του συστήματος μεταφοράς. Οι διάφορες άλλες συσκευές του συστήματος, όπως γεννήτριες, μετασχηματιστές, στατικά φορτία, κινητήρες, διακόπτες και πολλές φορές περιφερειακός εξοπλισμός, παριστάνονται με συγκεκριμένα σύμβολα. Σκοπός του μονογραμμικού διαγράμματος είναι να δώσει με απλή μορφή κάθε σημαντική πληροφορία σχετικά με το ενεργειακό σύστημα. Η ποσότητα της πληροφορίας που περιλαμβάνεται στο μονογραμμικό διάγραμμα εξαρτάται από το σκοπό για τον οποίον αυτό προορίζεται. Συνιστώσες που δεν κρίνονται σημαντικές κατά το χειρισμό ενός προβλήματος αγνοούνται και δεν περιλαμβάνονται στο μονογραμμικό διάγραμμα. Η θέση των διακοπών, για παράδειγμα, δεν χρειάζεται για μια μελέτη *ροής φορτίου*. Αντίθετα, πληροφορία σχετική με τη θέση των διακοπών είναι πολύ σημαντική για την εκπόνηση μελέτης *μεταβατικής ευστάθειας*. Ομοίως, η θέση των μετασχηματιστών έντασης και τάσης (που συνδέουν

τους διάφορους ηλεκτρονόμους στο σύστημα ή που χρησιμοποιούνται για μετρητικούς σκοπούς) δεν χρειάζεται στις περισσότερες των μελετών γι' αυτό και αυτοί δεν περιλαμβάνονται στα μονογραμμικά διαγράμματα. Εξάριση αποτελούν οι *μελέτες προστασίας*, όπου αυτή η πληροφορία είναι πολύ χρήσιμη.

Στο Σχ. 1.3 φαίνονται τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για την παράσταση διαφόρων συνιστωσών του συστήματος. Τα σύμβολα που χρειάζονται κάποια διευκρίνιση είναι εκείνα του ζυγού και του φορτίου. Η έννοια του ζυγού σε ένα μονογραμμικό διάγραμμα είναι στην ουσία η ίδια με την έννοια του κόμβου σε ένα απλό κύκλωμα, αν και η τριφασική φύση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας κάνει την έννοια του ζυγού λίγο πιο πολύπλοκη. Σημεία κατά μήκος ενός ζυγού χωρίζονται με αμελητέες αντιστάσεις και συνεπώς έχουν την ίδια τάση. Οι ζυγοί συμβολίζονται στα μονογραμμικά διαγράμματα με ευθύγραμμα τμήματα κάθετα προς τα σύμβολα των διαφόρων συνιστωσών του συστήματος. Τα φορτία στα μονογραμμικά διαγράμματα παριστάνουν *πολύ μεγάλες καταναλώσεις*,

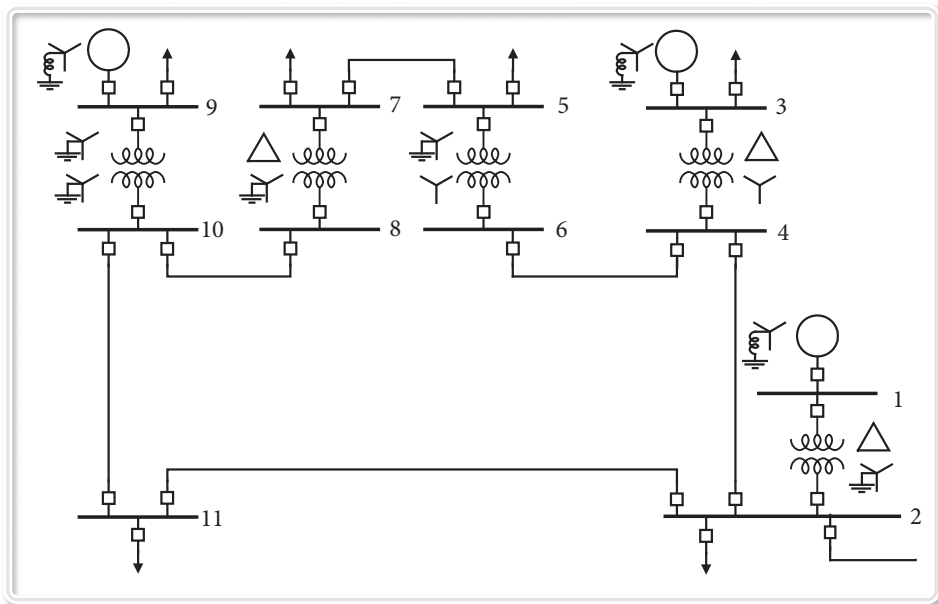


Σχήμα 1.3. Σύμβολα για την παράσταση των συνιστωσών συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

όπως, για παράδειγμα, το σύστημα διανομής μίας πόλης, ή μιας μεγάλης βιομηχανικής εγκατάστασης. Τέτοια συστήματα διανομής παρέχουν ισχύ σε διάφορους καταναλωτές υπό διάφορα επίπεδα τάσης.

Σε πολλές εφαρμογές, π.χ. σε μελέτες βραχυκυκλωμάτων, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τα σημεία όπου το σύστημα *γειώνεται*. Για το λόγο αυτό λεπτομέρειες σχετικά με τις γειώσεις δείχνονται συνήθως στα μονογραμμικά διαγράμματα. Το σύμβολο που δείχνει μία τριφασική σύνδεση *αστέρα* (Υ) με το κοινό σημείο γειωμένο φαίνεται στο Σχ. 1.3. Αν η γείωση γίνεται μέσω μίας αντίστασης ή μέσω μίας επαγωγικής αντίδρασης το κατάλληλο σύμβολο της αντίστασης ή της επαγωγής προστίθεται στο σύμβολο του γειωμένου αστέρα.

Στο Σχ. 1.4 φαίνεται το μονογραμμικό διάγραμμα ενός εικονικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας 11 ζυγών. Το σύστημα έχει έξι γραμμές μεταφοράς, τρεις γεννήτριες, πέντε μετασχηματιστές και έξι φορτία. Οι ζυγοί παραγωγής 3 και 9 τροφοδοτούν επίσης σημαντικά φορτία του συστήματος. Από το ζυγό 2, τέλος, αναχωρεί μία διασυνδεδετική γραμμή μέσω της οποίας το εν λόγω σύστημα συνδέεται με γειτονικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 1.4 Μονογραμμικό διάγραμμα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

1.5 ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στην Ελλάδα το αποκλειστικό δικαίωμα της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχει εκχωρηθεί από το 1950 στη *Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού* (ΔΕΗ), που καλύπτει σήμερα τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου σχεδόν του πληθυσμού της χώρας. Στον ιδρυτικό Νόμο 1468 προβλέπονταν και η συνέχιση της λειτουργίας των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού, που ήδη υπήρχαν και ανήκαν σε ιδιώτες ή δήμους ή κοινότητες, με την προϋπόθεση ότι θα ακολουθούσαν τις τεχνολογικές εξελίξεις. Επειδή όμως ο εκσυγχρονισμός αυτός δεν πραγματοποιήθηκε, κυρίως λόγω των μεγάλων επενδύσεων που απαιτούσε, το Ελληνικό Κράτος με το Νόμο 3523 που ψηφίστηκε το 1956 κήρυξε τη λήξη των προνομίων και αδειών λειτουργίας όλων των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού που λειτουργούσαν μέχρι τότε και επέκτεινε το προνόμιο της ΔΕΗ για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη χώρα με την εντολή να εξαγοράσει όλες αυτές τις επιχειρήσεις ώστε να εκπληρώσει καλύτερα τον σκοπό της. Μέχρι το 1964 εξαγοράστηκαν 405 τέτοιες επιχειρήσεις, δύο ακόμα μικρές επιχειρήσεις εξαγοράστηκαν το 1965 και τελευταία εξαγοράστηκε η εταιρία “ΓΛΑΥΚΟΣ” της Πάτρας το 1968. Για τις εξαγορές δαπανήθηκαν συνολικά 1.69 εκατομμύρια ευρώ και η πλέον σημαντική εξαγορά αφορούσε την Ηλεκτρική Εταιρεία Αθηνών-Πειραιώς (ΗΕΑΠ), που έγινε το 1960. Βασικός σύμβουλος της ΔΕΗ κατά την πενταετία 1950-55 ήταν η αμερικάνικη εταιρία EBASCO, που είχε την ευθύνη οργάνωσης και λειτουργίας της ΔΕΗ, καθώς και της εκτέλεσης του ενεργειακού προγράμματος. Με βάση το πρόγραμμα αυτό άρχισε η κατασκευή του ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ) Αλιβερίου (1953), του υδροηλεκτρικού σταθμού (ΥΗΣ) Άγρα (1954), του ΥΗΣ Λούρου (1954) και του ΥΗΣ Λάδωνα (1955). Το 1957 σχεδόν όλοι αυτοί οι σταθμοί λειτουργούσαν.

Οι μονάδες παραγωγής της ΔΕΗ είναι λιγνιτικές, υδροηλεκτρικές, πετρελαϊκές και φυσικού αερίου στην ηπειρωτική χώρα και σχεδόν εξ ολοκλήρου πετρελαϊκές στην Κρήτη, Ρόδο και τα υπόλοιπα νησιά. Τελευταία χρησιμοποιούνται και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), κυρίως αιολική ενέργεια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά του Αιγαίου. Τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ στην Πτολεμαίδα και τη Μεγαλόπολη εξασφαλίζουν το σημαντικότερο για την ελληνική οικονομία ενεργειακό καύσιμο, το λιγνίτη, στον οποίο βασίστηκε ο εξηλεκτρισμός της χώρας μας από τη στιγμή της ίδρυσης της ΔΕΗ. Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες

τες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Σήμερα, οι 8 λιγνιτικοί σταθμοί της ΔΕΗ αποτελούν το 44% της εγκατεστημένης ισχύος και παράγουν το 62% περίπου της ηλεκτρικής παραγωγής της ΔΕΗ.

Σύμφωνα με στοιχεία του έτους 2005 (Πηγή: Δικτυακός τόπος ΔΕΗ, www.dei.gr), η συνολική εγκατεστημένη ισχύς και η καθαρή παραγωγή του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ήταν, ανά είδος σταθμών παραγωγής, αυτή που φαίνεται στον Πίνακα 1.1. Στον Πίνακα 1.2 φαίνονται οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί του διασυνδεδεμένου συστήματος και στον Πίνακα 1.3 οι θερμικοί σταθμοί του διασυνδεδεμένου συστήματος, της Κρήτης και της Ρόδου, οι μονάδες που διαθέτουν και η ισχύς τους.

Πίνακας 1.1 Εγκατεστημένη ισχύς και καθαρή παραγωγή ελληνικού συστήματος έτους 2005

Είδος σταθμών Παραγωγής	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	Ποσοστό	Καθαρή παραγωγή (GWh)	Ποσοστό
Λιγνιτικοί	5288	43.1%	32798	62.0%
Υδροηλεκτρικοί	3061	24.9%	6189	11.7%
Πετρελαϊκοί	2309	18.8%	9046	17.1%
Φυσ. Αερίου	1581	12.9%	4761	9.0%
Α.Π.Ε.	37	0.3%	106	0.2%
Σύνολο	12276	100%	52900	100%

Περίπου το 10% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται υπό μορφή απωλειών στο δίκτυο μεταφοράς και το υπόλοιπο πωλείται στους διάφορους καταναλωτές. Από αυτές τις πωλήσεις το 55% γίνεται υπό χαμηλή τάση, το 20% υπό μέση τάση και το υπόλοιπο 25% υπό υψηλή τάση. Η σύνθεση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2003 ήταν η εξής: οικιακή 34%, βιομηχανική 29.1%, εμπορική 25.9%, γεωργική 5.7% και άλλες 5.3%.

Το δίκτυο μεταφοράς της Δ.Ε.Η. λειτουργεί υπό τάσεις 400 kV, 150 kV και 66 kV. Τη σπονδυλική στήλη του διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Στη περιοχή αυτή παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέ-

Πίνακας 1.2 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου ελληνικού συστήματος.

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ		
Σταθμοί	Μονάδες	MW
Πολύφυτο	3	375
Κρεμαστά	4	437.2
Καστράκι	4	320
Πλαστήρα	3	129.9
Λάδωνας	2	70
Άγρας	2	50
Εδεσσαίος	1	19
Λούρος	3	10.3
Πουρνάρι	6	333.6
Ασώματα	2	108
Σφηκιά	3	315
Στράτος	4	156.2
Γκίωνα	1	8.5
Πηγές Αώου	2	210
Μακροχώρι	3	10.8
Θησαυρός	3	384
Πλατανόβρυση	2	116
Μικροί ΥΗΣ	8	6.8
Σύνολο	56	3060.3

ρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, όπου καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός από τις γραμμές των 400 kV, το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς διαθέτει επίσης

Πίνακας 1.3 Θερμικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου ελληνικού συστήματος, Κρήτης και Ρόδου.

ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ			
Σταθμοί	Μονάδες	MW	Τύπος Καυσίμου
Αγ. Γεώργιος	2	360	Φυσ. Αέριο
Αλιβέρι	4	380	Μαζούτ
Πτολεμαΐδα	4	620	Λιγνίτης
Καρδιά	4	1250	Λιγνίτης
Αγ. Δημήτριος	5	1595	Λιγνίτης
Μεγαλόπολη	4	850	Λιγνίτης
Λαύριο	5	1572	Μζ./Φ. Αέριο
ΛΙΠΤΟΛ	2	43	Λιγνίτης
Αμύνταιο	2	600	Λιγνίτης
Μελίτης-Αχλάδας	1	330	Λιγνίτης
Κομοτηνή	1	485	Φυσικό αέριο
Ζάκυνθος	1	27	Diesel
ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΚΡΗΤΗΣ			
Λινοπεράματα	12	192.8	Μζ./Diesel
Χανιά	6	321.2	Μζ./Diesel
ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΡΟΔΟΥ			
Ρόδος	10	234	Μζ./Diesel
Σύνολο	62	8375	

Μζ: Μαζούτ

εναέριες και υπόγειες γραμμές των 150 kV και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV. Στα τέλη του 2005 το σύστημα μεταφοράς περιελάμβανε επίσης 533 μετασχηματιστές και αυτομετασχηματιστές με συνολική ονομαστική ισχύ 41660 MVA.

Το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς είναι συνδεδεμένο με τα γειτονικά ηλεκτρικά συστήματα των Βαλκανικών χωρών και πρόσφατα με το ηλεκτρικό σύστημα της Ιταλίας. Οι διασυνδέσεις με την Αλβανία και την ΠΓΔΜ πραγματοποιούνται μέσω δύο γραμμών, μιας των 400 kV και μιας δεύτερης γραμμής των 150 kV. Η γραμμή των 150 kV με την Αλβανία είναι προσωρινά ανενεργή, ενώ αναμένεται η γραμμή των 150 kV μεταξύ Ελλάδας και ΠΓΔΜ να αναβαθμιστεί στα 400 kV (ισχύς 1400 MVA). Η διασύνδεση με την Βουλγαρία αποτελείται από μία μοναδική γραμμή των 400 kV. Από το καλοκαίρι του 2002 βρίσκεται σε λειτουργία η διασύνδεση συνεχούς ρεύματος που συνδέει την Ελλάδα με την Ιταλία. Πρόκειται για μια διασύνδεση μήκους 270 km, 163 από τα οποία είναι υποβρύχια, 400 kV, ισχύος 500 MW.

Το δίκτυο διανομής της Δ.Ε.Η. παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε 6.8 εκατομμύρια περίπου καταναλωτές με γραμμές μέσης τάσης (22 kV, 20 kV, 15 kV και 6,6 kV) και χαμηλής τάσης (380/220 V).

Τα μήκη των δικτύων μεταφοράς και διανομής ανά τάση λειτουργίας και είδος δικτύου, σύμφωνα με στοιχεία του 2005, ήταν αυτά που φαίνονται τους Πίνακες 1.4 και 1.5 αντίστοιχα.

Πίνακας 1.4 Δίκτυο μεταφοράς (km)

Δίκτυο	400 kV	150 kV DC	400 kV	66 kV	Σύνολο
Εναέριο	2309	7874	107	39	10329
Υπόγειο	4	29	–	–	33
Υποθαλάσσιο	–	123	–	15	138
Σύνολο	2313	8026	107	54	10500

Πίνακας 1.5 Δίκτυο διανομής (km)

Δίκτυο	22 kV, 20 kV, 15 kV, 6.6 kV	220 V	Σύνολο
Εναέριο	89706	98738	188444
Υπόγειο	7715	10082	17797
Υποθαλάσσιο	1056	2	1058
Σύνολο	98477	108822	207299

1.6 ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Από το τέλος της δεκαετίας του 1970 άρχισε η αναμόρφωση ή κατ' άλλους απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, που στο τελικό της στάδιο φιλοδοξεί να δώσει τη δυνατότητα σε κάθε καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας να επιλέγει τον προμηθευτή του. Οι υποστηρικτές αυτής της ιδέας πιστεύουν ότι η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας και η ελάττωση του κόστους της μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τον ανταγωνισμό στην παραγωγή και τη διανομή της, δηλαδή να υπάρχουν πολλές εταιρίες παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και να αναπτύσσεται μεταξύ τους ανταγωνισμός. Η απελευθέρωση, όμως, της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τα πιο σύνθετα τεχνοοικονομικά προβλήματα, γιατί η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται και διανέμεται μέσω του δικτύου χωρίς να έχει συγκεκριμένες διευθύνσεις. Συνεπώς, αφ' ενός για να γίνει δυνατή η επιλογή του προμηθευτή από τον καταναλωτή πρέπει να εξευρεθούν και να εφαρμοστούν συμπληρωματικές λειτουργίες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αφ' ετέρου η ποιότητα του ηλεκτρισμού και οι φυσικοί περιορισμοί του συστήματος επιβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ασφαλή λειτουργία του. Η δυνατότητα ανταγωνισμού στην παραγωγή έγινε δυνατή με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των στροβίλων και την πτώση των τιμών φυσικού αερίου. Αυτοί οι λόγοι κατέστησαν τις σχετικά μικρές μονάδες παραγωγής συνδυασμένου κύκλου ανταγωνιστικές των μεγάλων θερμικών μονάδων και ανέτρεψαν τη φιλοσοφία κατασκευής μεγάλων μονάδων για την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής η νομοθετική ρύθμιση του 1978 (Public Utilities Regulator Policy Act (PURPA)) εισήγαγε την ιδέα του ανταγωνισμού στην παραγωγή και η νομοθετική ρύθμιση του 1992 (EPA) επέβαλε ομοσπονδικά και τον ανταγωνισμό στη διανομή. Η Καλιφόρνια από το 1998 έδωσε την δυνατότητα στους καταναλωτές να επιλέγουν τον προμηθευτή τους. Ο νόμος περί ηλεκτρισμού το 1989 οδήγησε σε νέα δομή το ηλεκτρικό δίκτυο της Αγγλίας και Ουαλίας και σταδιακά επέτρεψε σε όλο και μικρότερους καταναλωτές να έχουν δυνατότητα επιλογής του προμηθευτή τους. Αυτή η δυνατότητα δόθηκε σε όλους τους καταναλωτές το 1998. Οι χώρες της Λατινικής Αμερικής, στην προσπάθειά τους για προσέλκυση κεφαλαίων με στόχο τον εκσυγχρονισμό των ηλεκτρικών τους δικτύων, προχώρησαν στην ιδιωτικοποίηση των ηλεκτρικών τους συστημάτων, που στη Χιλή επισημοποιήθηκε το 1982 με τον αντίστοιχο νόμο περί ηλεκτρισμού. Ο ενεργειακός νόμος του 1991 στη Νορβηγία διεχώρησε

τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας σε τρεις συνιστώσες: την παραγωγή, που ήταν απελευθερωμένη, το δίκτυο μεταφοράς και διανομής, που ρυθμίζονται σαν φυσικά μονοπώλια και τη διανομή, όπου εισήχθη ο ανταγωνισμός.

Από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης η ολοκλήρωση της ανταγωνιστικής ηλεκτρικής αγοράς είναι ένα σημαντικό βήμα για την ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας. Στα πλαίσια αυτά, μετά από εννέα χρόνια προσπαθειών για να ευρεθεί ένας συμβιβασμός, θεσπίστηκε η Ευρωπαϊκή Οδηγία για την ενέργεια στις 19 Φεβρουαρίου του 1997, που έπρεπε να υιοθετηθεί από τις εθνικές νομοθεσίες μέσα σε δύο χρόνια. Οι βασικές αρχές της είναι:

- Κάθετα οργανωμένες ηλεκτρικές εταιρείες, δηλαδή εταιρείες που καλύπτουν και τους τρεις τομείς παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας να καταστήσουν ανεξάρτητους αυτούς τους τομείς (unbundling).
- Αποκλειστικά δικαιώματα εταιρειών να καταργηθούν
- Όλοι οι πελάτες, ανεξάρτητοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας και οποιοσδήποτε παράγει ή εμπορεύεται ηλεκτρική ενέργεια να έχει πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς ή τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας (third – party access).

Πρόσφατα με τον Νόμο 2773/99 εισήχθη και στη χώρα μας το βασικό θεσμικό πλαίσιο για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που επιτρέπει σε πελάτες να επιλέγουν τον προμηθευτή τους και σε νέους παραγωγούς να ανταγωνίζονται τη ΔΕΗ, που μέχρι τώρα ήταν ο μόνος παραγωγός στη χώρα. Σύμφωνα με ειδικές ρυθμίσεις που ίσχυαν για την Ελλάδα, η απελευθέρωση του 28% περίπου της αγοράς άρχισε τη 19^η Φεβρουαρίου του 2001 και διευρύνθηκε στο 33% περίπου το 2003. Το 2006 θα αποφασιστούν τα περαιτέρω βήματα απελευθέρωσης της αγοράς με βάση τη μέχρι τότε εμπειρία. Για τη λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας δημιουργήθηκαν δυο βασικοί φορείς. Ο ένας είναι η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) και ο άλλος η Ανώνυμη Εταιρεία Διαχείρισης Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ή Διαχειριστής του Συστήματος ή ΔΕΣΜΗΕ).

Η ΡΑΕ είναι μια *ανεξάρτητη αρχή* που φροντίζει, εισηγείται και προωθεί την ύπαρξη συνθηκών ίσων ευκαιριών, και υγιούς ανταγωνισμού και παρέχει την άδεια λειτουργίας σε παραγωγούς, προμηθευτές και λοιπούς φορείς της αγοράς.

Ο ΔΕΣΜΗΕ είναι μια εταιρεία που έχει ένα διπλό ρόλο:

- *Διαχειρίζεται* το ελληνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και έχει την ευθύνη για τη *λειτουργία, τη συντήρηση και την ανάπτυξή* του, καθώς και για την *πρόσβαση τρίτων* στο δίκτυο.

- *Εκκαθαρίζει* την αγορά, λειτουργεί δηλαδή σαν ένα είδος χρηματιστηρίου που υπολογίζει κάθε ημέρα ποιος οφείλει σε ποιόν. Ο ΔΕΣΜΗΕ δεν εμπορεύεται ηλεκτρική ενέργεια και οι βασικές συναλλακτικές σχέσεις είναι διμερείς μεταξύ παραγωγών-προμηθευτών και των πελατών τους.