

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1535

**ΓΡΑΜΜΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

ΖΑΡΟΥΚΙΑΝ ΒΑΡΤΚΕΣ

ΚΟΛΑ ΕΡΑΛΝΤ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία υπάρχει μια ιστορική αναδρομή που μας δείχνει πώς έχει εξελιχτεί η τεχνολογία ,πώς παράγεται και πώς μας βοηθά η ηλεκτρική ενέργεια. Στην συνέχεια έχουμε αναφορά στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ,στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται και τις τεχνολογίες με τις οποίες παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Θα γίνει αναφορά στις τεχνολογίες και στα είδη των εργοστασίων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Ακόμα θα περιγράψουμε λεπτομερώς το δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας όπως και ο τρόπος και τεχνολογία που χρησιμοποιούνται για την υλοποίησή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την εργασία υπάρχουν στοιχεία που ο αναγνώστης μπορεί να καταλάβει την ουσία και την έννοια της ενέργειας στην ζωή μας. Υπάρχει μια ιστορική αναδρομή που μας δείχνει πώς έχει εξελιχτεί η τεχνολογία ,πώς παράγεται και πώς μας βοηθά η ηλεκτρική ενέργεια. Στην συνέχεια έχουμε αναφορά στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ,στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται και τις τεχνολογίες με τις οποίες παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια.

Θα γίνει αναφορά στις τεχνολογίες και στα είδη των εργοστασίων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Ακόμα θα περιγράψουμε λεπτομερώς το δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας όπως και ο τρόπος και τεχνολογία που χρησιμοποιούνται για την υλοποίησή τους.

Κάθε χρόνο χρησιμοποιούμε όλο και περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια. Ένας λόγος που χρησιμοποιούμε τόσο πολλή ηλεκτρική ενέργεια είναι ότι είναι εύκολο να μεταφερθεί από το ένα μέρος στο άλλο.. Μπορεί να παραχθεί σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και να μεταφερθεί μεγάλες αποστάσεις προτού να χρησιμοποιηθεί. Κατ' αρχάς, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας:

Κατ' αρχάς, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ταξιδεύει μέσω ενός καλωδίου σε έναν μετασχηματιστή που ενισχύει την τάση. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ενισχύουν την τάση επειδή η ηλεκτρική ενέργεια με μικρή τάση χάνεται κατά τη μεταφορά της μέσω των καλωδίων. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται μέσω του εθνικού δικτύου μιας χώρας με τη βοήθεια των γραμμών μεταφοράς. Οι γραμμές μεταφοράς είναι οι τεράστιες γραμμές που συγκρατούνται από ψηλούς πύργους, τους πυλώνες, και τις οποίες βλέπετε κατά μήκος των εθνικών οδών. Οι γραμμές μεταφοράς διασυνδέονται με τέτοιο τρόπο που εάν μια γραμμή πάθει βλάβη κάποια άλλη να μπορεί να αναλάβει το φορτίο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	III
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	3
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	3
1.1 Αρχαίοι Χρόνοι.....	3
1.2 17 ^{ος} αιώνας.....	4
1.3 Βιομηχανική Επανάσταση	4
1.4 Σύγχρονη Εποχή.....	6
1.5 Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα	7
1.6 Ιστορική ανασκόπηση της αξιοποίησης λιγνιτικών κοιτασμάτων.....	9
1.7 Οι πρώτοι εφευρέτες	11
1.7.1 Θαλής.....	11
1.7.2 Χανς Κρίστιαν Έρστρεντ	12
1.7.3 Μάικλ Φαραντέι.....	13
1.7.4 Τζέιμς Κλερκ Μάξγουελ	15
1.7.5 Χάινριχ Χερτς.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	18
ΘΕΩΡΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	18
2.1 Τα ανεπαίσθητα ρευστά	18
2.2 Η θεωρία του ενός ρευστού	18
2.3 Η λουγδουνική φιάλη	22
2.4 Το ηλεκτρικό ρεύμα	25
2.5 Η γεννήτρια συνεχούς ρεύματος.....	27
2.6 Συνεχές ή Εναλλασσόμενο ρεύμα	28
2.7 Το στοιχείο Leclanche	29
2.8 Το φαινόμενο Kerr	30
2.9 Το τηλέφωνο	31
2.10 Ο φωνόγραφος.....	33
2.11 Ο ηλεκτρικός λαμπτήρας	36
2.12 Το μικρόφωνο.....	37

2.13	Το φωτόφωνο.....	38
2.14	Το φαινόμενο Hall.....	39
2.15	Ιδέες για τηλεόραση.....	40
2.16	Ηλεκτρική ενέργεια.....	41
2.17	Το ηλεκτροκίνητο τραμ.....	50
2.18	Ανατροπές και Εξειδικεύσεις.....	53
2.19	Ακτινοβολίες και ραδιενέργεια.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....		61
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....		61
3.1	Παραδοσιακές Πηγές Ηλεκτρισμού.....	63
3.1.1	Η τριβή.....	63
3.1.2	Η χημική ενέργεια.....	63
3.1.3	Το φως.....	63
3.1.4	Ο μαγνητισμός.....	63
3.2	Τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	64
3.2.1	Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί.....	64
3.2.2	Υδροηλεκτρικοί σταθμοί.....	65
3.2.3	Θερμικοί σταθμοί με ΜΕΚ.....	66
3.2.4	Πυρηνικοί Σταθμοί.....	68
3.3	Ενναλακτικές Μορφές Ηλεκτρισμού.....	70
3.3.1	Η αιολική ενέργεια.....	70
3.3.2	Η ηλιακή ενέργεια.....	71
3.3.3	Η ενέργεια από τα κύματα.....	72
3.3.4	Η ενέργεια από την βιομάζα.....	73
3.3.5	Η ενέργεια από τα δέντρα.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		76
ΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ.....		76
4.1	Γενικές Αρχές Ηλεκτρομαγνητισμού που διέπουν τη λειτουργία των μετασχηματιστών.....	76
4.1.1	Νόμος των ΒΙΟΤ-SAVART.....	76
4.1.2	Το μαγνητικό πεδίο.....	77
4.1.3	Μεγέθη του μαγνητικού πεδίου.....	79
4.1.4	Μαγνητική αντίσταση-Μαγνητικό κύκλωμα.....	81
4.1.5	Καμπύλη μαγνήτισης.....	83
4.1.6	Βρόχος Υστέρησης.....	84

4.1.7	Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή	86
4.2	Γενικά για τον μετασχηματιστή	88
4.2.1	Αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή	89
4.2.2	Βασικές αρχές	90
4.2.3	Νόμος επαγωγής.....	91
4.2.4	Ισοδύναμο κύκλωμα	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		94
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ		94
5.1	Περιγραφή του υφιστάμενου συστήματος.....	96
5.1.1	Υποσταθμοί 150 KV/MT	96
5.1.2	Κέντρα υπερυψηλής τάσεως (KYT)	97
5.1.3	Γραμμές Μεταφοράς (Γ.Μ.).....	97
5.1.4	Συσκευές αντιστάθμισης αέργου ισχύος	98
5.1.5	Διεθνείς Διασυνδέσεις	98
5.2	Κριτήρια σχεδιασμού συστήματος	101
5.2.1	Ασφάλεια	101
5.2.2	Ικανότητα διακίνησης ενέργειας.....	103
5.3	Στρατηγική ανάπτυξης του συστήματος.....	103
5.3.1	Στόχοι	103
5.4	Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς.....	105
5.4.1	Σύστημα 400 kV.....	105
5.4.2	Ανάπτυξη Συστήματος 150 kV	109
5.5	Αντιστάθμιση Αέργου Ισχύος	110
5.6	Ανάπτυξη των διεθνών συνδέσεων της χώρας.....	111
5.7	Βαθμίδες υψηλής και υπερυψηλής τάσεως στο ελληνικό σύστημα- Αντίστοιχες στάθμες βραχυκύκλωσης	113
5.8	Υποσταθμοί YT/MT	114
5.8.1	Όριο του Συστήματος.....	114
5.8.2	Σύνδεση Υποσταθμών YT/MT με το Σύστημα	114
5.8.3	Διαμόρφωση Υποσταθμών YT/MT εντός των Ορίων Ευθύνης του Χρήστη.....	114
5.8.4	Συγκρότηση Ζυγών Υ.Τ. (150 και 66kV) Υ/Σ	115
5.9	Κέντρα υπερυψηλής τάσης (KYT).....	117
5.10	Γραμμές Μεταφοράς (Γ.Μ.) & καλώδια Υ.Τ.....	117
5.10.1	Τυποποιημένα Είδη Εναέριων Γ.Μ.....	117

5.10.2	Θερμικό Όριο	118
5.10.3	Χαρακτηριστικά Καλωδιακών Γ.Μ.	120
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	122

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) ιδρύθηκε στις 8 Αυγούστου 1950. Κύρια αποστολή ήταν η παραγωγή και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την Ελλάδα με τη φθηνότερη δυνατή τιμή μέσα στα πλαίσια της οικονομικής πολιτικής της χώρας. Μετά από λίγα χρόνια η επιχείρηση απέκτησε το αποκλειστικό δικαίωμα για την παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη τη χώρα.

Από το 1889 μέχρι το 1949 η εξάπλωση του ηλεκτρισμού στη χώρα μας είχε να αντιμετωπίσει το οξύ πρόβλημα του κατακερματισμού της παραγωγής και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας σε πάρα πολλές μικρές δημοτικές ή ιδιωτικές εταιρείες. Το ρεύμα τότε έφτανε μόνο για φωτισμό (με δόσεις) και η τιμή του σε αστρονομικά επίπεδα. Το 1950 από τους 11.600 οικισμούς της χώρας είχαν ηλεκτροδοτηθεί μόνο 823 και ιδιαίτερα οι περιοχές Αθηνών - Πειραιώς που απορροφούσαν πάνω από το 85% της συνολικής παραγωγής.

Στα 48 χρόνια επιχειρηματικής δράσης η ΔΕΗ αξιοποιώντας τις εγχώριες πηγές ενέργειας κατόρθωσε να ηλεκτροδοτήσει το σύνολο του πληθυσμού της χώρας, ανταποκρινόμενη αποτελεσματικά στην ολοένα αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία το 1997 έφθασε τις 3650 kWh ανά κάτοικο από 88 kWh που ήταν το 1950.

Η ΔΕΗ έχει συμβάλει αποφασιστικά στην αυτάρκεια της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, έχοντας σταθμούς παραγωγής που η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους στο τέλος του 1997 ήταν 9859 MW και η καθαρή παραγωγή τους ξεπέρασε τις 39236 GWh. Το Σύστημα Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ αποτελείται από το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Σταθμών Παραγωγής των υπολοίπων Νησιών.

Με τον όρο διασυνδεδεμένο σύστημα εννοούμε την ανάπτυξη ενιαίου συστήματος δικτύων που συνδέουν τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τα σημεία κατανάλωσης στην ηπειρωτική χώρα και μικρού μέρους του νησιωτικού συμπλέγματος. Οι πρώτες μονάδες παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ που λειτούργησαν ήταν στο Αλιβέρι, στην Πτολεμαίδα, στο Κερασίι και οι υδροηλεκτρικές μονάδες των Λούρου, Λάδωνα, Αγρα και Γλαύκου.

Τα βασικότερα λιγνιτικά - ενεργειακά κέντρα βρίσκονται στις περιοχές Αμυνταίου - Πτολεμαίδας στη Δυτική Μακεδονία και στη Μεγαλόπολη στη Πελοπόννησο, με συνολική παραγωγή λιγνίτη που έφθασε για το 1997 τους 56,5 εκατομμύρια τόνους. Το Σύστημα Μεταφοράς απλώνεται σε ένα δίκτυο γραμμών υψηλής τάσης που

φτάνει τα 10.200 χλμ. ενώ το Σύστημα Διανομής με γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης πλησιάζει τα 180.000 χλμ.

Οι οικιακοί, αγροτικοί και εμπορικοί καταναλωτές αλλά και οι μεγάλες ηλεκτροβόρες βιομηχανίες συνθέτουν το σύνολο των 6,43 εκατομμυρίων πελατών των οποίων τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό καλύπτει η ΔΕΗ εξασφαλίζοντας γι'αυτούς την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια (σχεδόν 40 δισ. KWh για το 1997).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Αρχαίοι Χρόνοι

Πολύ πριν γίνει (τεκμηριωμένα) γνωστή στην ανθρωπότητα οποιαδήποτε γνώση περί ηλεκτρισμού, υπήρξαν στην αρχαιότητα άνθρωποι που ήταν ενήμεροι για το ηλεκτροσόκ που προκαλεί η επαφή με κάποιο ηλεκτροφόρο ψάρι. Βρέθηκαν αρχαία αιγυπτιακά κείμενα, χρονολογημένα από το 2750 π.Χ., που αναφέρουν την ύπαρξη ηλεκτροφόρων ψαριών στον ποταμό Νείλο. Τα ψάρια αυτά αναφέρθηκαν ως «κεραυνοί του Νείλου» και περιεγράφηκαν ως οι «προστάτες» όλων των άλλων ψαριών. Η παρουσία ηλεκτρικών ψαριών αναφέρθηκε ξανά, μερικές χιλιετηρίδες αργότερα, από αρχαίους Έλληνες, Ρωμαίους και Άραβες φυσιοδίφες και γιατρούς. Αρκετοί αρχαίοι συγγραφείς, όπως ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος και ο Σκριβόνιος Λάργκος (Scribonius Largus), ανέφεραν την πρόκληση αναισθησίας από γατόψαρο και ηλεκτροφόρο σαλάχι, καθώς επίσης και τη γνώση ότι τέτοια ηλεκτροσόκ μπορούσαν να μεταδοθούν μέσω διαφόρων αγωγίμων αντικειμένων. Ασθενείς που έπασχαν από ασθένειες όπως αρθρίτιδα ή πονοκέφαλο έλαβαν την εντολή (από γιατρούς της εποχής) να αγγίξουν ηλεκτρικά ψάρια, με την ελπίδα ότι το ισχυρό τράνταγμα από το ηλεκτροσόκ θα μπορούσε να τους θεραπεύσει. Πιθανώς η παλαιότερη και πλησιέστερη προσέγγιση στην ανακάλυψη της ταυτότητας της αστραπής, αλλά και του ηλεκτρισμού γενικά από κάθε άλλη πηγή, μπορεί να αποδοθεί στους Άραβες, οι οποίοι πριν από το 15^ο αιώνα είχαν την αραβική λέξη *raad* για την αστραπή να χρησιμοποιείται (επίσης) για την ηλεκτρική εκκένωση.

Οι αρχαίοι πολιτισμοί γύρω από τη Μεσόγειο ήξεραν ότι κάποια αντικείμενα, όπως ράβδοι από κεχριμπάρι, όταν τριφτούν με κάποιο κατάλληλο υλικό όπως, για παράδειγμα, το τρίχωμα της γάτας, έλκουν ελαφρά αντικείμενα, όπως τα πούπουλα. Ο Θαλής ο Μιλήσιος έκανε μια σειρά από παρατηρήσεις πάνω στο στατικό ηλεκτρισμό, γύρω στο 600 π.Χ., από τις οποίες πίστευε ότι η τριβή μετατρέπει (προσωρινά) το κεχριμπάρι σε ένα είδος μαγνήτη, σε αντιδιαστολή με κάποια ορυκτά, όπως ο μαγνητίτης, που είναι μόνιμοι μαγνήτες, χωρίς να χρειάζονται τριβή. Ο Θαλής είχε άδικο όσον αφορά στο ότι η έλξη των πούπουλων από το κεχριμπάρι γινόταν χάρη σε ένα μαγνητικό φαινόμενο, αλλά αργότερα η επιστήμη απέδειξε ότι πράγματι υπάρχει σύνδεση μεταξύ του μαγνητισμού και του ηλεκτρισμού. Σύμφωνα με μια αμφισβητούμενη θεωρία, οι Πάρθοι μπορεί να είχαν γνώση της ηλεκτρόλυσης, με βάση την ανακάλυψη,

το 1936, της μπαταρίας της Βαγδάτης, η οποία μοιάζει με ένα γαλβανικό στοιχείο, αν και είναι αβέβαιο ότι το τεχνούργημα αυτό ήταν ηλεκτρικό στη φύση του.

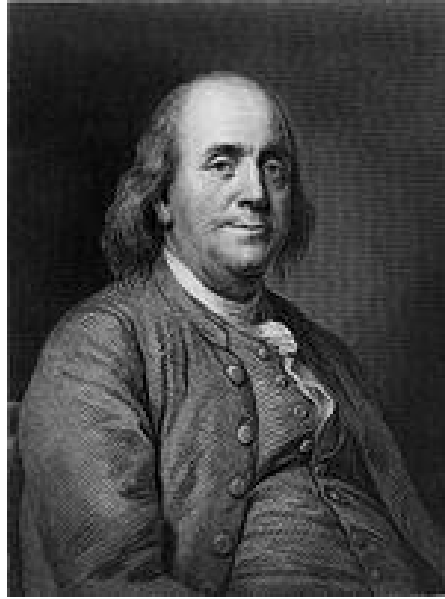
1.2 17^{ος} αιώνας

Ο ηλεκτρισμός θα παρέμενε σαν κάτι περισσότερο από μια διανοητική περιέργεια για πολλούς αιώνες, μέχρι το 1600, οπότε ο Άγγλος επιστήμονας Γουίλιαμ Γκίλμπερτ (William Gilbert) έκανε μια προσεκτική μελέτη πάνω στον ηλεκτρισμό και στον μαγνητισμό, διακρίνοντας τον στατικό ηλεκτρισμό που παράγεται από το τρίψιμο κεχριμπαριού από τον μαγνητισμό. Αυτός επινόησε τη νεολατινική λέξη «electricus», από την ελληνική λέξη «ἤλεκτρον», που ήταν η αρχαία ελληνική λέξη για το κεχριμπάρι, για να αναφερθεί στην ιδιότητα έλξης μικρών ελαφρών αντικειμένων από άλλα, μετά από τριβή. Ο συσχετισμός αυτός «γέννησε» τις αγγλικές λέξεις «electric» και «electricity» [που μεταφέρθηκαν αργότερα, ως αντιδάνειο, και στην ελληνική με τις λέξεις «ηλεκτρικός» (επίθετο) και «ηλεκτρισμός» (ουσιαστικό)]. Αυτές οι (νέες τότε) αγγλικές λέξεις εμφανίστηκαν για πρώτη φορά σε έντυπη μορφή στο σύγγραμμα «Pseudodoxia Epidemica», του 1646, από τον Τόμας Μπράουν(Thomas Browne)

1.3 Βιομηχανική Επανάσταση

Περαιτέρω εργασία διενεργήθηκε από τον Ότο φον Γκέρικε(Otto von Guericke), από τον Ρόμπερτ Μπόιλ (Robert Boyle), από τον Στήβεν Γκρέυ (Stephen Gray) και τον Σαρλ Φρανσουά ντε Σίστερνυ ντε Φε (Charles François de Cisternay du Fay). Τον 18ο αιώνα, ο Βενιαμίν Φραγκλίνος (Benjamin Franklin) έκανε εκτεταμένη έρευνα στον ηλεκτρισμό, πουλώντας τα υπάρχοντά του, για να χρηματοδοτήσει το έργο του. Τον Ιούνιο του 1752 πραγματοποίησε ένα πολύ φημισμένο πείραμα, δένοντας ένα μεταλλικό κλειδί στην ουρά ενός χαρταετού, που πέταξε σε ένα θυελλώδη ουρανό.

Η δημιουργία μιας αλληλουχίας σπινθήρων από το κλειδί ως το χέρι του, που κρατούσε το σκοινί του χαρταετού, απέδειξε ότι η αστραπή είναι όντως φυσικός (στατικός) ηλεκτρισμός. Επίσης εξήγησε τη φαινομενικά παράδοξη συμπεριφορά του δοχείου Λέιντεν (Leyden jar), μιας συσκευής που αποθήκευε, σχετικά, μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικού φορτίου.



Εικόνα 1: Benjamin Franklin

Το 1791, ο Λουίτζι Γκαλβάνι (Galvani published) δημοσίευσε την ανακάλυψή του για τον βιοηλεκτρισμό, επιδεικνύοντας ότι διαμέσου των νευρώνων μεταδίδονται ηλεκτρικά σήματα προς τους μύες. Η μπαταρία ή ηλεκτρική στήλη (voltaic pile) του Αλεσάντρο Βόλτα (Alessandro Volta), το 1800, που κατασκευάστηκε από εναλλασσόμενα ελάσματα ψευδαργύρου και χαλκού, προμήθευσε στους επιστήμονες μια πιο αξιόπιστη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τις ηλεκτροστατικές γεννήτριες (electrostatic generator) που χρησιμοποιούνταν προηγουμένως. Η αναγνώριση του ηλεκτρομαγνητισμού ως μιας ενότητας των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων, άρχισε από τους Χανς Κρίστιαν Έρστεντ (Hans Christian Ørsted) και Αντρέ Μαρί Αμπέρ (André-Marie Ampère) το 1819-1820. Ο Μάικλ Φαραντέι (Michael Faraday) εφεύρε τον ηλεκτρικό κινητήρα, το 1821, και ο Γκέοργκ Ωμ (Georg Ohm) ανέλυσε μαθηματικά το ηλεκτρικό κύκλωμα το 1827. Ο ηλεκτρισμός, ο μαγνητισμός (και το φως συνδέθηκαν (πλέον) ανεπιφύλακτα από τον Τζέιμς Κλερκ Μάξγουελ (James Clerk Maxwell), ιδίως με την εργασία του «Περί των φυσικών δυναμικών γραμμών» (On Physical Lines of Force) το 1862 και το 1862.

Ενώ στις αρχές του 19^{ου} αιώνα παρατηρήθηκε ταχεία πρόοδος στην ηλεκτρική επιστήμη, στα τέλη του 19^{ου} αιώνα παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη πρόοδος στην ηλεκτρική μηχανική. Άνθρωποι όπως ο Αλεξάντερ Γκράχαμ Μπελ (Alexander Graham Bell), ο Οττό Μπλάθου (Ottó Bláthy), ο Τόμας Έντισον (Thomas Edison), ο Γαλιλέος Φερράρις (Galileo Ferraris), ο Όλιβερ Χέβισαϊντ (Oliver Heaviside), ο Άντος Τζέντλαϊκ (Ányos Jedlik), ο Ουίλιαμ Τόμσον (Lord Kelvin), ο Τσαρλς Άλγκερον Πάρσονς (Sir Charles Algernon Parsons), ο Βέρνερ φον Ζίμενς (Ernst Werner von Siemens), ο Τζόζεφ Σουάν

(Joseph Swan), ο Νίκολα Τέσλα (Nikola Tesla) και ο Τζωρτζ Γουέστινγκχαουζ (George Westinghouse), μετετρέψαν τον ηλεκτρισμό από θέμα απλής επιστημονικής περιέργειας σε νευραλγικής σημασίας εργαλείο της σύγχρονης ζωής και την κινητήρια δύναμη της Δεύτερης Βιομηχανικής Επανάστασης.

Το 1887, ο Χάινριχ Χερτζ (Heinrich Hertz) ανακάλυψαν ότι τα ηλεκτρόδια που φωτίζονται με υπεριώδεις φως παράγουν ευκολότερα ηλεκτρικούς σπινθήρες.

1.4 Σύγχρονη Εποχή

Το 1905, ο Άλμπερτ Αϊνστάιν δημοσίευσε ένα φυλλάδιο που εξηγούσε πειραματικά δεδομένα από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ως αποτέλεσμα της επίδρασης της ενέργειας του φωτός που μεταφέρεται σε διακριτά κβαντισμένα πακέτα, ενεργοποιώντας ηλεκτρόνια. Αυτή η ανακάλυψη οδήγησε την «κβαντική επανάσταση». Ο Αϊνστάιν βραβεύθηκε με το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής του 1921 για αυτήν την ανακάλυψη. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο επίσης εμπλέκεται στα φωτοκύτταρα και στα φωτοβολταϊκά και με αυτές τις μορφές χρησιμοποιήθηκε συχνά σε εμπορικά αξιοποιήσιμες εφαρμογές.

Η πρώτη ηλεκτρονική συσκευή στερεάς κατάστασης ήταν ο «ανιχνευτής σύρμα γάτας», που χρησιμοποιήθηκε τη δεκαετία του 1900 σε δέκτες ραδιοσημάτων. Ένα μυστακοειδές σύρμα τοποθετούνταν σε ελαφρά επαφή με ένα στερεό κρύσταλλο (όπως ένας κρύσταλλος γερμανίου) με σκοπό να ανιχνευθεί ένα σήμα ραδιοκυμάτων με το φαινόμενο διασταύρωσης. Σε συστατικά στερεής κατάστασης το φαινόμενο επιβεβαιώνεται τόσο στερεά χημικά στοιχεία και ενώσεις που διαμορφώνονται ειδικά στο να εφαρμόζουν και να διακόπτουν την παροχή του έτσι παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα διαδίδεται με δυο κατανοητές μορφές: α) Με αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια και β) με θετικά φορτισμένα ηλεκτρονιακά κενά, που ονομάζονται «τρύπες». Αυτά τα φορτία και οι τρύπες είναι κατανοητά σε όρους κβαντικής φυσικής. Το δομικό υλικό αυτών είναι συχνά ένας κρυσταλλικός ημιαγωγός.

Η ηλεκτρονική συσκευή στερεάς κατάστασης οδήγησε από μόνη της στην εφεύρεση της κρυσταλλοτριόδου το 1947. Οι συνηθισμένες ηλεκτρονικές συσκευές στερεάς κατάστασης συμπεριλαμβάνουν τις κρυσταλλοτριόδους, τους μικροεπεξεργαστές, και τις μονάδες μνήμης τυχαίας προσπέλασης. Ένας εξειδικευμένος τύπος μνήμης τυχαίας προσπέλλησης περιλαμβάνει τις μνήμες φλας που χρησιμοποιούνται στις μνήμες USB και (πιο πρόσφατα) σε οδηγούς στερεής κατάστασης (solid state drives), που χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν τους μηχανικά περιστρεφόμενους μαγνητικούς σκληρούς δίσκους. Οι ηλεκτρονικές συσκευές στερεής κατάστασης

επικράτησαν τις δεκαετίες του 1950 και του 1960, κατά τη διάρκεια της μετάβασης από τις ηλεκτρονικές λυχνίες στις ημιαγωγικές διόδους, στις κρυσταλλοτριόδους, στα ολοκληρωμένα κυκλώματα (IC) και στις διόδους εκπομπής φωτός (LED).

1.5 Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα

Το 1889 φτάνει το "ηλεκτρικό" στην Ελλάδα. Η Γενική Εταιρεία Εργοληψιών, κατασκευάζει στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο ιστορικό κέντρο της Πρωτεύουσας. Τον ίδιο χρόνο η τουρκοκρατούμενη Θεσσαλονίκη θα δει κι αυτή το ηλεκτρικό φως καθώς Βελγική Εταιρία αναλαμβάνει απ' τις Τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροchioδρόμηση της Πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Δέκα χρόνια αργότερα οι πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα. Η αμερικανική εταιρία Thomson-Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας θα ιδρύσει την Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία που θα αναλάβει την ηλεκτροδότηση κι άλλων μεγάλων Ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα ηλεκτροδοτηθούν 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους.

Στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια.

Το 1950 υπήρχαν στη Ελλάδα 400 περίπου εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαν ήταν το πετρέλαιο και ο γαιάνθρακας που φυσικά εισάγονταν από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση αυτή της παραγωγής, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στα ύψη (τριπλάσιες ή και πενταπλάσιες τιμές απ' αυτές που ίσχυαν στις Ευρωπαϊκές χώρες). Το ηλεκτρικό λοιπόν ήταν ένα αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Για να εξαπλωθεί η ηλεκτρική ενέργεια ομοιόμορφα σε όλη τη χώρα και για να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά τόσο στη βιομηχανία όσο και στην ύπαιθρο, έπρεπε να υπάρξουν οι εξής προϋποθέσεις:

- Αξιοποίηση των εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πόρων, που απαιτούσε όμως τεράστιες επενδύσεις, οι οποίες δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν από τους μεμονωμένους βιομηχάνους παραγωγής ενέργειας.
- Ενοποίηση της παραγωγής σε ενιαίο διασυνδεδεμένο δίκτυο, ώστε τα φορτία να επιμερίζονται σε εθνική κλίμακα.
- Ύπαρξη ενιαίου φορέα που θα επέτρεπε τον επιμερισμό του κόστους ανάμεσα στις κερδοφόρες και ζημιογόνες περιοχές. Τις προϋποθέσεις αυτές κάλυψε η ΔΕΗ με τον πλέον επιτυχή τρόπο.

Έτσι τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, για να λειτουργήσει "χάριν του δημοσίου συμφέροντος" με σκοπό τη χάραξη και εφαρμογή μιας εθνικής ενεργειακής πολιτικής, η οποία μέσα από την εντατική εκμετάλλευση των εγχώριων πόρων, να κάνει το ηλεκτρικό ρεύμα κτήμα και δικαίωμα του κάθε Έλληνα πολίτη, στη φθηνότερη δυνατή τιμή.

Αμέσως με την ίδρυσή της, η ΔΕΗ στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που δημιουργούσε. Παράλληλα, η Επιχείρηση ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας.

Αρκετά νωρίς, το 1956, αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υπάρχει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης. Σιγά-σιγά, η ΔΕΗ εξαγόρασε όλες αυτές τις επιχειρήσεις και ενέταξε το προσωπικό τους στις τάξεις της.

Σ' όλα αυτά τα χρόνια της παρουσίας της, αγωνίστηκε και πέτυχε την ενεργειακή αυτονομία της χώρας και έφερε σε πέρας το σπουδαίο έργο του εξηλεκτρισμού της δημιουργώντας ταυτόχρονα το μεγαλύτερο μέρος της βαριάς ελληνικής βιομηχανίας.

Το ηλεκτρικό ρεύμα έφτασε με επάρκεια σε κάθε άκρη της ελληνικής γης. Από τα μικρά ακριτικά νησιά μας ως τους πιο απόμακρους οικισμούς της ορεινής Ελλάδας.

Επί του παρόντος, το 50% της συνολικής παραγωγής προέρχεται από καύση λιγνίτη, το 10% από πετρέλαιο, το 17% από φυσικό αέριο, το 10% από υδροηλεκτρικούς σταθμούς, το 6% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και το 7% από διασυνδέσεις.

1.6 Ιστορική ανασκόπηση της αξιοποίησης λιγνιτικών κοιτασμάτων

Τη δεκαετία του 1890 δημιουργούνται τα πρώτα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής στην περιοχή, που βασίζονται στην εκμετάλλευση των λιγνιτικών πεδίων της Μπάλιας-Καραϊδίν.

Η συγκεκριμένη περιοχή και η μεταλλευτική και ηλεκτροπαραγωγός δραστηριότητα έχει και μια θλιβερή πλευρά, εφ' όσον οι 700 μεταλλωρύχοι και εργαζόμενοι στα εργοστάσια της περιοχής θα δολοφονηθούν ομαδικά μαζί με τις οικογένειές τους από τον τακτικό κεμαλικό στρατό τον Σεπτέμβριο του 1922 και θα ταφούν σε ομαδικούς τάφους έξω από την Μπάλια

Είναι ενδιαφέρον ότι η αναγνώριση και η αξιοποίηση του λιγνίτη στην Ελλάδα θα γίνει από Μικρασιάτες πρόσφυγες που εγκαταστάθηκαν στην Πτολεμαΐδα και είχαν μεταφέρει τη σχετική τεχνογνωσία για το υλικό αυτό.

Ο πρώτος που ζήτησε και πήρε το δικαίωμα δημιουργίας ορυχείων και εκμετάλλευσης του λιγνίτη στην περιοχή αυτή ήταν ο Γεώργιος Παυλίδης, πρόσφυγας από τη Φώκαια της Σμύρνης. Η σημασία αυτής της δράσης αναγνωρίστηκε από τους ιστορικούς της ενέργειας: «Στα μέσα της δεκαετίας του 1920 ανήσυχoi και δραστήριοι, όπως ο Γ. Παυλίδης (...) αντιλήφθηκαν τη σημασία του λιγνίτη και κατέβαλαν μεγάλες προσπάθειες για τη συστηματική του εκμετάλλευση...» («Μνήμες και εικόνες από λιγνίτη. 60 χρόνια ενέργεια για την Ελλάδα», δεύτερη έκδοση, ΔΕΗ, 2010).

Η πρώτη σοβαρή προσπάθεια για την εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων στη χώρα μας άρχισε στο Αλιβέρι (Εύβοια) το 1873. Δυστυχώς μια φοβερή πλημμύρα το 1897 κατέστρεψε όλες τις επιφανειακές και υπόγειες εγκαταστάσεις εξόρυξης. Η εκμετάλλευση ξανάρχισε μετά τον πρώτο Παγκόσμιο πόλεμο. Το 1922 η ετήσια παραγωγή έφθασε τους 23.000 τόνους και διατηρήθηκε μέχρι το 1927. Το επόμενο έτος η εκμετάλλευση σταμάτησε για οικονομικούς λόγους. Μετά το δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο η ανάγκη εξηλεκτρισμού της χώρας οδήγησε στην απόφαση κατασκευής ατμοηλεκτρικού σταθμού στο Αλιβέρι, που θα λειτουργούσε αποκλειστικά με λιγνίτη.

Το 1951 ανέλαβε η ΔΕΗ την υπόγεια εκμετάλλευση των Ορυχείων στο Αλιβέρι, κατορθώνοντας να αυξήσει την παραγωγή σε 750 χιλιάδες τόνους το χρόνο και να τροφοδοτήσει μονάδες συνολικής ισχύος 230 MW. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 σταμάτησε η λειτουργία του λιγνιτωρυχείου Αλιβερίου.

Οι πρώτες συστηματικές έρευνες για την εντόπιση και αξιολόγηση των λιγνιτών της ευρύτερης περιοχής Πτολεμαΐδας άρχισαν μετά το 1938. Το 1955 συστάθηκε η εταιρία ΛΙΠΤΟΛ που είχε ως αντικείμενο την εκμετάλλευση του λιγνίτη και τη χρησιμοποίησή του για την παραγωγή μπρικετών, αζωτούχων λιπασμάτων, χημικών και ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1959 το 90% των μετοχών της ΛΙΠΤΟΛ περιήλθαν στη ΔΕΗ. Το 1975 συγχωνεύθηκε η ΛΙΠΤΟΛ στη ΔΕΗ. Η παραγωγή λιγνίτη που ήταν το 1959 1,3 εκ. τόνους , αυξήθηκε το 1975 σε 11,7 εκ. τόνους, το 1985 σε 27,3 εκ. τόνους και το 2006 σε 49 εκ. τόνους (συμπεριλαμβανομένου και του ορυχείου στη Φλώρινα).

Το λιγνιτικό κοίτασμα Μεγαλόπολης μελετήθηκε επιστημονικά για πρώτη φορά το 1957 και τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά. Το 1969 άρχισε από τη ΔΕΗ η εκμετάλλευση του λιγνίτη. Το γεγονός αυτό ήταν μία ιδιαίτερη περίπτωση σε παγκόσμιο επίπεδο, επειδή για πρώτη φορά τόσο φτωχός λιγνίτης εξορύσσεται και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το λιγνιτωρυχείο Μεγαλόπολης ξεκίνησε με μία ετήσια παραγωγή 1 εκ. τόνους και έφθασε το 2006 τους 13,5 εκ. τόνους.

Σήμερα η ΔΕΗ παράγει συνολικά περίπου 63 εκ. τόνους λιγνίτη σε ετήσια βάση. Η εντυπωσιακή ανάπτυξη των Λιγνιτωρυχείων της ΔΕΗ επιτρέπει στη χώρα μας να κατέχει τη δεύτερη θέση στην παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, την πέμπτη θέση στην Ευρώπη και την έκτη στον Κόσμο

1.7 Οι πρώτοι εφευρέτες

1.7.1 Θαλής

Ο Θαλής ο Μιλήσιος, (περ 630/635 π.Χ. - 543 π.Χ.), προσωκρατικός φιλόσοφος, που δραστηριοποιήθηκε στις αρχές του 6ου αιώνα π.Χ. στη Μίλητο. Του αποδίδεται το έργο Ναυτική Αστρολογία, αλλά θεωρείται μάλλον αμφίβολο αν έγραψε ο ίδιος.



Εικόνα 2: Θαλής ο Μιλήσιος.

Για την ανασύσταση της σκέψης του βασιζόμαστε αποκλειστικά σε μαρτυρίες. Η παράδοση κατατάσσει τον Θαλή μεταξύ των επτά σοφών και τον περιγράφει ως άνθρωπο με πλατιές γνώσεις και μεγάλη επινοητικότητα. Το σημαντικότερο είναι, ωστόσο, ότι μέσω της προβληματικής του για την αρχή του κόσμου ανήγαγε τα πολλαπλά φαινόμενα του κόσμου σε μία απρόσωπη, μοναδική ή ενιαία αρχή, γεγονός που τον κατατάσσει δίκαια στη χορεία των φιλοσόφων. Ο Θαλής είναι γνωστός και για την επιτυχημένη πρόβλεψη της ηλιακής έκλειψης του 585. Στην φυσική ο Θαλής ο Μιλήσιος ανακάλυψε τις τροπές (ηλιοστάσια), το ετερόφωτο της Σελήνης, καθώς και τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό, από τις ελκτικές ιδιότητες του ορυκτού μαγνητίτη και του ήλεκτρου (κεχριμπάρι).

1.7.2 Χανς Κρίστιαν Έρστεντ

Ο Χανς Κρίστιαν Έρστεντ (Hans Christian Ørsted), 14 Αυγούστου 1777–9 Μαρτίου 1851) ήταν Δανός φυσικός καιχημικός. Γενικότερα, διαμόρφωσε τη φιλοσοφία της Επιστήμης και τις σχετικές εξελίξεις μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα. Είναι περισσότερο γνωστός για την ανακάλυψη της σχέσεως μεταξύ Ηλεκτρισμού και Μαγνητισμού, που επιβεβαιώθηκε αργότερα και κατέληξε στις εξισώσεις του Μάξγουελ, ώστε οι φυσικοί να μιλούν πλέον μόνο για Ηλεκτρομαγνητισμό. Ενώ ετοιμαζόταν για μια βραδινή διάλεξη στις 21 Απριλίου 1820, ο Ørsted ετοίμαζε ένα πείραμα, όταν κάτι τον εξέπληξε: Πρόσεξε ότι η βελόνα μιας πυξίδας απέκλινε από τον μαγνητικό βορρά όταν το ηλεκτρικό ρεύμα από τη μπαταρία που χρησιμοποιούσε έρεε ή σταματούσε. Αυτή η στροφή της βελόνας τον έπεισε ότι σε όλες τις πλευρές ενός σύρματος που μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργούνται μαγνητικά πεδία. Αυτό το πείραμα, που έμεινε στην Ιστορία της Επιστήμης ως «Πείραμα του Ørsted», επιβεβαίωσε την άμεση σχέση του ηλεκτρισμού με τον μαγνητισμό.

Εκείνη την εποχή ο Έρστεντ δεν πρότεινε κάποια ικανοποιητική εξήγηση για το φαινόμενο, ούτε και προσπάθησε να το αναπαραστήσει ποσοτικά-μαθηματικά. Ωστόσο, τρεις μήνες αργότερα άρχισε συστηματικότερες έρευνες. Σύντομα μετά δημοσίευσε τα ευρήματά του. Σήμερα, η μονάδα μέτρησης της μαγνητικής επαγωγής στο σύστημα μονάδων CGS ονομάζεται oersted προς τιμή της συνεισφοράς του στον Ηλεκτρομαγνητισμό. Οι ανακαλύψεις του Έρστεντ είχαν ως αποτέλεσμα την εντατική έρευνα της Ηλεκτροδυναμικής από την επιστημονική κοινότητα. Τα ευρήματα επηρέασαν τον Γάλλο φυσικό Αντρέ-Μαρί Αμπέρ στο να βρει μια μοναδική μαθηματική σχέση για τις μαγνητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται ανάμεσα σε ρευματοφόρους αγωγούς. Η ανακάλυψη του Ørsted αντιπροσωπεύει επίσης ένα σημαντικό βήμα προς μια ενοποιημένη σύλληψη της έννοιας της ενέργειας.

1.7.3 Μάικλ Φαραντέι



Εικόνα 3: Michael Faraday

Ο Μάικλ Φαραντέι (22 Σεπτεμβρίου 1791–25 Αυγούστου 1867) ήταν ένας Άγγλος επιστήμονας με σημαντική συμβολή στην εξέλιξη του ηλεκτρομαγνητισμού και της ηλεκτροχημείας. Ο Φαραντέι θεωρείται ένας από τους κορυφαίους επιστήμονες που η ανθρωπότητα έχει αναδείξει. Κατέχει ξεχωριστή θέση (την πρώτη για αρκετούς ιστορικούς της επιστήμης) όσον αφορά το πειραματικό κομμάτι των φυσικών επιστημών, καθώς ήταν ιδιαίτερα παραγωγικός όσον αφορά στην επινόηση, το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός μεγάλου πλήθους πειραμάτων.

Μέσα στις εφευρέσεις του συμπεριλαμβάνεται η πρώτη έκδοση της συσκευής που αργότερα θα γινόταν γνωστή ως λυχνία Bunsen και η οποία χρησιμοποιείται παγκοσμίως σε εργαστήρια επιστημών ως μία αρκετά αποδοτική πηγή θερμότητας. Είναι επίσης γνωστός για τις εργασίες που πραγματοποίησε πάνω στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, των οποίων αποτέλεσμα είναι ο νόμος που περιγράφει το φαινόμενο και φέρει το όνομα του. Η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας στο SI, φέρει προς τιμήν του την ονομασία farad.

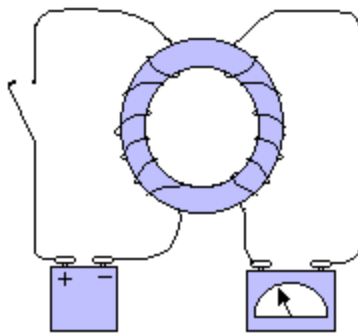
Η πρώτη ανακάλυψη του Φαραντέι στον ηλεκτρομαγνητισμό έγινε (σύμφωνα με τα προσεγμένα αρχεία που διατηρούσε) στις 3 Σεπτεμβρίου 1821, αφού είχε επαναλάβει το πείραμα του Έρστεντ. Ο Φαραντέι παρατήρησε την αλλαγή στον προσανατολισμό της μαγνητικής βελόνας όταν αυτή πλησίαζε ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό, κάτι που είχε ήδη επισημάνει ο Έρστεντ. Επιχειρώντας όμως να αναπαραστήσει τη δύναμη που προκαλούσε αυτή την αλλαγή σε

διάφορα σημεία γύρω από τον ευθύγραμμο αγωγό, διαπίστωσε ότι η αναπαράσταση που προέκυπτε είχε την μορφή ομόκεντρων κύκλων με κέντρο τον άξονα του αγωγού. Αυτός ο τρόπος απεικόνισης ενός μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιείται ευρύτατα στον ηλεκτρομαγνητισμό: πρόκειται για τις γνωστές δυναμικές γραμμές. Σημειώνεται ότι και ο όρος 'μαγνητικό πεδίο' ('magnetic field') αποδίδεται στον Φαραντέι. Βασισμένος στην παραπάνω διαπίστωση, ο Φαραντέι κατασκεύασε τον ηλεκτρομαγνητικό στροφέα μία συσκευή που εκμεταλλευόταν την κυκλική μορφή του μαγνητικού πεδίου γύρω από τον ρευματοφόρο αγωγό και προκαλούσε την περιστροφή μιας μαγνητικής ράβδου.

Οπλισμένος με το 'εργαλείο' των δυναμικών γραμμών, ο Φαραντέι συνέχισε τις έρευνες του γύρω από τον ηλεκτρομαγνητισμό επιδιώκοντας να εντοπίσει κάποιο τρόπο να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα με τη χρήση μαγνητών. Για αρκετά χρόνια οι προσπάθειες του παρέμεναν άκαρπες. Αναφερόμενος σε διάφορες πειραματικές διατάξεις, συμπληρώνει στο ημερολόγιό του μία σειρά από αναφορές που καταλήγουν σε σχόλια του τύπου 'δεν υπήρξε αντίδραση' ή 'κανένα αποτέλεσμα'...

Η ημερομηνία της 29ης Αυγούστου του 1831 είναι η πιο σημαδιακή για τις προσπάθειες του Άγγλου πειραματιστή, όταν αυτός στο μεταξύ εργαζόταν ως διευθυντής του εργαστηρίου του Βασιλικού Ιδρύματος. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποίησε ήταν απλή: είχε τυλίξει δύο σπείρες σύρματος αντιδιαμετρικά, σε έναν δακτύλιο από μαλακό σίδηρο (βλ. παρακάτω σχήμα). Διοχετεύοντας ηλεκτρικό ρεύμα στο ένα από τα δύο σύρματα, διαπίστωσε ότι στο άλλο σύρμα εμφανίζεται πράγματι ηλεκτρικό ρεύμα, αλλά μόνο όταν το ρεύμα στο πρώτο σύρμα ξεκινά ή διακόπτεται. Θεωρώντας ότι το ηλεκτρικό ρεύμα 'επάγεται' στο δεύτερο σύρμα, η ονομασία που αποδόθηκε στο φαινόμενο ήταν 'επαγωγή'. Πολύ σύντομα, συνεχίζοντας τα πειράματα ο Φαραντέι κατέληξε σε δύο σημαντικά συμπεράσματα. Πρώτον, η ύπαρξη του σιδερένιου δακτυλίου δεν είναι απαραίτητη για να παρατηρηθεί το φαινόμενο. Δεύτερον, το ρόλο του πρώτου σύρματος μπορούσε να παίξει και ένας ισχυρός μαγνήτης. Αυτό το συμπέρασμα ήταν ιδιαίτερα αξιοσημείωτο, αφού σηματοδοτούσε τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος από μαγνήτη, με άλλα λόγια τη μετάβαση από τον μαγνητισμό στον ηλεκτρισμό.

Την ανακάλυψη της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής που ήταν πλέον πραγματικότητα ακολούθησε εκείνη της ηλεκτρογεννήτριας. Πρώτος διαπιστώνει τη δεξιόστροφη φορά του Μαγνητικού πεδίου σε σχέση με τη φορά του ρεύματος που το παράγει. Επίσης ο Φαραντέι επινόησε και τον μετασχηματιστή.



Εικόνα 4: Κύκλωμα παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποίησε ο Μάικλ Φαραντέι στη μελέτη της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής

1.7.4 Τζέιμς Κλερκ Μάξγουελ



Εικόνα 5: James Clerk Maxwell

Ο Τζέιμς Κλερκ Μάξγουελ (James Clerk Maxwell) ήταν Σκωτσέζος φυσικός. Γεννήθηκε στο Εδιμβούργο στις 13 Ιουνίου 1831 και πέθανε στο Καίμπριτζ στις 5 Νοεμβρίου 1879. Καταγόταν από εύπορη οικογένεια της Σκωτίας. Το πατρώνυμό του ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Maxwell της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής ανέσεως της οικογένειάς του, ο Μάξγουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Υπήρξε μαθητής του Φαραντέι και μετά από μια λαμπρή σταδιοδρομία στο Εδιμβούργο και στο Κέιμπριτζ, νεότατος κέρδισε την αναγνώριση με την μαθηματική επιστήμη. Ήδη το 1855 δημοσίευσε την εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματικοποίησε τις εικόνες των δυναμικών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Φαραντέι,

διάσημος ερευνητής πια, τον ενεθάρρυνε σ' αυτές τις εργασίες του. Ήταν καθηγητής στο κολέγιο Marischal, στο Αμπερντήν (1856-60), και στο Βασιλικό Κολλέγιο στο Λονδίνο (1860-65). Το 1871 διορίστηκε πρώτος καθηγητής της έδρας πειραματικής φυσικής στο Κάιμπριτζ, όπου διηύθυνε την οργάνωση του εργαστηρίου Cavendish, με τη χορηγία του Δούκα του Ντένβοσαϊρ, ιδρυτή του εργαστηρίου. Το 1872 δημοσιεύτηκε η εργασία που έκανε τον Μάξγουελ διάσημο, «A Treatise on Electricity and Magnetism» (Πραγματεία πάνω στον Ηλεκτρισμό και το Μαγνητισμό), στο οποίο παρουσιάζονται οι ονομαζόμενες έκτοτε Εξισώσεις του Μάξγουελ. Βασίζοντας τη μελέτη και την έρευνά του πάνω σ' αυτή του μεγάλου φυσικού Φαραντέι, ανέπτυξε τη θεωρία του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε μαθηματική βάση και κατέστησε δυνατή μια πολύ μεγαλύτερη κατανόηση των φαινομένων σε αυτόν τον τομέα. Σ' αυτή την εργασία, η οποία είναι καρπός περίπου πενταετούς εργασίας σε εθελοντική απομόνωση, στο αγρόκτημά του, στο Γκλένλαιν της Σκωτίας, μεταξύ άλλων:

- συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης 150 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων (Νόμοι των Αμπερ, Γκάους, Φαραντέι),
- θεμελιώνεται θεωρητικά και περιγράφεται με μαθηματικό τρόπο για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε «ηλεκτρομαγνητικά κύματα», γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι την εποχή εκείνη δεν είχαν ακόμα αναπτυχθεί οι μαθηματικοί συμβολισμοί (διανυσματική ανάλυση κτλ.), γι' αυτό οι εξισώσεις Maxwell δεν είχαν την απλή μορφή που γνωρίζουμε σήμερα. Οι φυσικοί νόμοι δίνονταν με μορφή που μόνο εξειδικευμένοι και έμπειροι μαθηματικοί ήταν σε θέση να διαβάσουν και να κατανοήσουν. Ένας εξ αυτών, ο Μπόλτζμαν, λέγεται ότι αναφώνησε, όταν μελέτησε τις πολυπλοκότερες μαθηματικές παραστάσεις της θεωρίας του Μάξγουελ: «Αυτές τις εξισώσεις μόνο ένας θεός μπορεί να τις έγραψε». Αλλά και γενικότερα, η αναγνώριση του Μάξγουελ ως θεμελιωτή της θεωρίας του ηλεκτρομαγνητισμού ήταν καθολική. Σε δημοσίευση της εποχής αναφέρεται, ότι «το έργο του Μάξγουελ προβλέπει τις αρχές για όλα τα ηλεκτρομαγνητικά μηχανήματα», άποψη που επιβεβαιώνεται από την κατοπινή εφαρμογή που βρήκαν οι θεωρίες του Μάξγουελ για τον ηλεκτρομαγνητισμό σε πάρα πολλούς τομείς της φυσικής, οδηγώντας μεταξύ άλλων στον εξηλεκτρισμό των δυτικών χωρών και συμβάλλοντας στη δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση.

Σε ανάλογο βαθμό σημαντικές με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία είναι και οι εργασίες του Maxwell για την κινητική θεωρία των αερίων, τη γενική Στατιστική κτλ. Αναλύοντας τις εξωτερικές δράσεις των μαγνητών διατύπωσε την υπόθεσή του, επί της περιστροφικής κίνησης των μορίων, η οποία και συμπληρώνει επιτυχώς την ανάλογη

υπόθεση που είχε διατυπώσει το 1869 ο Γουίλιαμ Τόμσον. Ο Τζέιμς Μάξγουελ δημοσίευσε πλείστα έργα σημαντικότερα των οποίων είναι «Θεωρία της θερμότητας» (1871), «Ηλεκτρισμός και μαγνητισμός» (1873) και «Υλη και κίνησις» (1876). Αλλά και καθαρά μαθηματικές εργασίες έχει δημοσιεύσει ο Μάξγουελ, όπως για τη θεωρία κινήσεως της σβούρας, την επιφάνεια κυκλιδών κ.ά. Επίσης, συνέλαβε τον τρόπο υλοποίησης της πρώτης έγχρωμης φωτογραφίας. Πέθανε σε ηλικία 48 ετών στο Καίμπριτζ, όπου δίδασκε ως καθηγητής.

1.7.5 Χάινριχ Χερτζ



Εικόνα 6: Heinrich Rudolf Hertz

Ο Χάινριχ Ρούντολφ Χερτζ ή Χερτζ, (Heinrich Rudolf Hertz), (1857-1894) ήταν Γερμανός φυσικός. Ο πρώτος που πέτυχε την εκπομπή, μετάδοση και λήψη ραδιοκυμάτων. Γεννήθηκε στις 22 Φεβρουαρίου 1857 στο Αμβούργο, και το 1880 απέκτησε το διδακτορικό του δίπλωμα από το Πανεπιστήμιο του Βερολίνου. Επιβεβαίωσε την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Τζέιμς Μάξγουελ και κατά τη διάρκεια πειραμάτων (1886 - 1889) παρήγαγε και μελέτησε ηλεκτρομαγνητικά κύματα (γνωστά επίσης ως ερτζιανά κύματα, ή ραδιοκύματα). Κατέδειξε ότι αυτά είναι μακρά, εγκάρσια κύματα που ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός και μπορούν να απεικονιστούν, να διαθλαστούν, και να πολωθούν όπως το φως. Προσέγγισε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Ανέπτυξε την Ηλεκτροδυναμική κινούμενων σωματιδίων. Η μονάδα της συχνότητας, το Hertz, ονομάστηκε έτσι προς τιμή του. Στα γραπτά του περιλαμβάνονται εργασίες όπως «Τα ηλεκτρικά κύματα» (1890, TR. 1893) και «Αρχές της μηχανικής» (1894, TR. 1899). Πέθανε στη Βόννη την 1η Ιανουαρίου 1894 σε ηλικία μόλις 37 ετών.

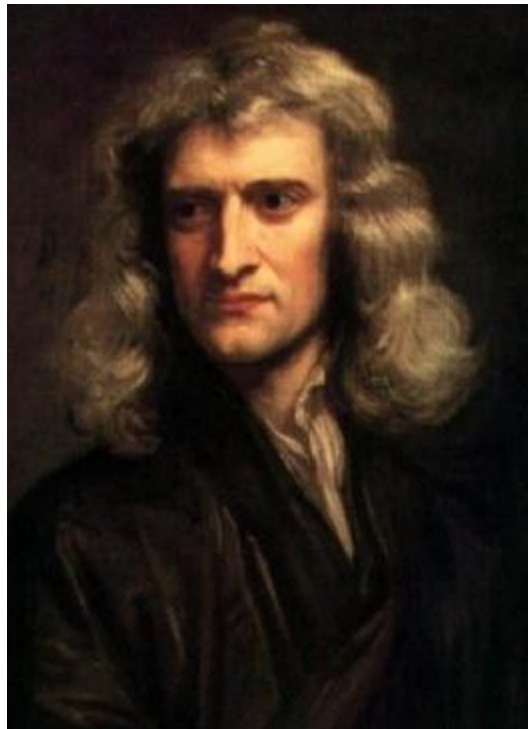
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

2.1 Τα ανεπαίσθητα ρευστά

Παράλληλα με τις έρευνες για τον ηλεκτρισμό εξελίσσονταν τα πειράματα για τη θερμότητα. Η θεωρία που επικρατούσε τότε ήταν ότι υπήρχαν δύο ανεπαίσθητα ρευστά, ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα. Ο όρος «ανεπαίσθητο» ή «αβαρές» αναφερόταν σε φυσικές ιδιότητες μιας ουσίας που δεν είχε ύλη. Κοινό χαρακτηριστικό των δύο αυτών «ρευστών» ήταν ότι μεταφέρονταν μέσα από ορισμένες κατηγορίες σωμάτων, όπως αποδείκνυαν τα πειράματα που προαναφέραμε για τον ηλεκτρισμό. Αυτή η ιδέα έχει παραμείνει μέχρι σήμερα στην ορολογία, αφού αναφερόμαστε σε ροή θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Προσπάθειες να μεταφερθεί η ιδέα των ανεπαίσθητων ρευστών στο φως, την καύση, το μαγνητισμό, τη βαρύτητα κτλ. δεν απέδωσε, γιατί δεν ήταν δυνατόν να εξηγηθούν διάφορα φαινόμενα.

2.2 Η θεωρία του ενός ρευστού



Εικόνα 7: Sir Isaac Newton

Ο Νεύτων είχε την ελπίδα να αναγάγει την εξήγηση όλων αυτών των φαινομένων σε μηχανιστικές δράσεις μεταξύ των ατόμων της ύλης, όπως είχε εξηγηθεί η κίνηση των πλανητών κτλ. Εδώ ως άτομο νοείται το ελάχιστο αδιαίρετο τμήμα της ύλης, περίπου όπως το είχε περιγράψει ο Δημόκριτος, χωρίς κάποιες ιδιαίτερες γνώσεις για τις ιδιότητές του. Ενώ όμως η βαρυτική έλξη δεν ήταν δυνατόν να μετρηθεί σε εργαστηριακή κλίμακα, επειδή είναι πολύ ασθενής, η ηλεκτρική έλξη μπορούσε να μετρηθεί, να μεταφερθεί, να απομονωθεί μέσα σε μεταλλικά σώματα, να γίνει ορατή ως σπινθήρας, να ανάψει εύφλεκτα υγρά, να ερεθίσει το δέρμα ανθρώπων και ζώων κ.ά. Έτσι, η ελπίδα αυτή του Νεύτωνα δεν ευοδώθηκε.

Με την πάροδο του χρόνου οι πειραματιστές του ηλεκτρισμού βρήκαν θέση στα Πανεπιστήμια της εποχής. Συνηθέστερα πειράματα ήταν αυτά με το «ηλεκτρισμένο παιδί» του Γκράιου, το απότομο τράβηγμα μεταξωτού γαντιού από το χέρι σε σκοτάδι, το οποίο συνοδευόταν από τσιριχτό ήχο και λάμψη, η μαζική ηλεκτρίση ομάδας ανθρώπων που πιάνονταν από τα χέρια και αποδείκνυαν ότι ο ηλεκτρισμός «μεταφέρεται», ο χαρταετός του Φραγκλίνου (βλέπε επόμενα) κ.ά. Αρχικά έπρεπε οι πειραματιστές να κατασκευάσουν ή να αγοράσουν με δικά τους χρήματα τις συσκευές επιδείξεως, αργότερα άρχισαν τα Πανεπιστήμια να εξαγοράζουν αυτές τις συσκευές για να χρησιμοποιηθούν από το διάδοχο του αποχωρούντα πειραματιστή.

Ο Benjamin Franklin (Φραγκλίνος, 1706-1790) προσπάθησε να διατυπώσει μια εναλλακτική άποψη που στηριζόταν στις ιδέες του Νεύτωνα: Μία μοναδική ηλεκτρική ατμόσφαιρα προκαλούσε έλξη ή άπωση με μηχανική πίεση, κάτι σαν βαρυτικός αιθέρας. Το 1743 παρακολούθησε ο Φραγκλίνος το πείραμα του Γκράιου με το ηλεκτρισμένο αγόρι που κρεμόταν από μεταξωτά σκοινιά και αργότερα διηγήθηκε ότι του δημιουργήθηκε η εντύπωση πως «ένα είδος φωτιάς διαχεόταν σε ολόκληρο το χώρο». Περί το 1745 δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό *Gentleman's Magazine* εντυπωσιακές περιγραφές ηλεκτρικών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στη Γερμανία. Ίσως από αυτές τις περιγραφές εντυπωσιασμένος, ασχολήθηκε ο Φραγκλίνος προσεκτικότερα με ηλεκτρικά πειράματα και το 1747 ανακοίνωσε την ιδιότητα αιχμηρών αγωγών να «σύρουν προς τα έξω και να αφαιρούν το ηλεκτρικό πυρ». Επρόκειτο προφανώς για ακίδες σε ηλεκτροστατικό πεδίο, γύρω από τις οποίες, όπως γνωρίζουμε σήμερα, το πεδίο είναι ιδιαίτερα ισχυρό κι έτσι προκαλείται σπινθήρας, εφόσον έχουν γειωθεί. Από την εικόνα του σπινθήρα σε σκοτεινό δωμάτιο συμπέρανε ο Φραγκλίνος ότι αντίστοιχα πρέπει να συμβαίνει και με τον κεραυνό. Το 1749 άρχισε πειράματα με αστραπές και το 1752 πραγματοποίησε το θρυλικό πείραμά του με το χαρταετό. Ο αετός αυτός είχε στο πλαίσιό του

στερεωμένο ένα σύρμα που συνδεόταν μέσω βρεγμένου σπάγγου με ένα κλειδί, το οποίο κρατούσε ο Φραγκλίνος με μια μεταξωτή κορδέλα.

Έτσι, με το εξαιρετικά επικίνδυνο αυτό πείραμα (ηλεκτροπληξία!) κατάφερε αυτός ο πολύ σημαντικός ερευνητής, επιχειρηματίας και πολιτικός να «αφαιρέσει το ηλεκτρικό πυρ» από τα σύννεφα διοχετεύοντάς το στο υγρό έδαφος και να θεμελιώσει την ιδέα για το αλεξικέραυνο. Με αυτό τον τρόπο εξηγήθηκε αναδρομικά και ο ρόλος των χάλκινων ράβδων με χρυσές αιχμές στην κορυφή, τις οποίες τοποθετούσαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι γύρω από τους ναούς για να εξευμενίσουν την «οργή των θεών» ... Ανάλογα πειράματα με τον ηλεκτρισμό των νεφών είχαν γίνει γνωστά από Γάλλους και Γερμανούς ερευνητές που τα εκτελούσαν συνήθως με αμέλεια ή και άγνοια για τον τεράστιο κίνδυνο που περικλείουν τα πειράματα με ηλεκτρισμό. Το 1753 κεραυνοβολήθηκε και σκοτώθηκε ο Georg Richmann (Ρίχμαν, 1711-1753) σε μια επίδειξη στη Ρωσική Ακαδημία Επιστημών, γιατί δεν φρόντισε να μονώσει σωστά το χέρι του από το αγώγιμο μέσο.

Μόλις επιβεβαιώθηκε η ικανότητα των αιχμηρών μέσων να «αφαιρούν το ηλεκτρικό πυρ» προέκυψε, άγνωστο πώς, μια συμπληρωματική θεωρία σύμφωνα με την οποία, κατ' αναλογία τα αμβλέα σώματα απωθούσαν τον κεραυνό και γι' αυτό έπρεπε να τοποθετηθούν κάτω από τη σκεπή. Τελικά τα πειράματα απέδειξαν ότι σημαντικότερος παράγοντας ήταν το ύψος, στο οποίο βρισκόταν το μεταλλικό σώμα που «αφαιρούσε το πυρ» παρά το σχήμα του.

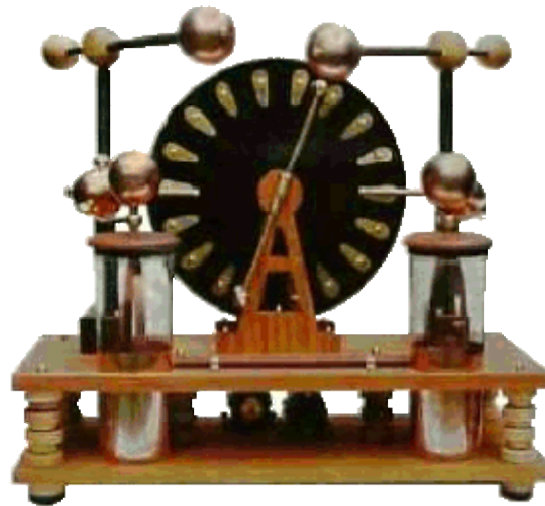


Εικόνα 8: Αλεξιβρόχιο με αλεξικέραυνο και καλώδιο γείωσης

Το αλεξικέραυνο ήταν η πρώτη σημαντική και άμεσα αξιοποιήσιμη εφεύρεση μετά το Μεσαίωνα και με αυτήν επιβεβαιωνόταν η πρόβλεψη του Βάκωνα (Francis Bacon) ότι η επιστήμη θα οδηγούσε, σε αντίθεση με το παρελθόν, σε νέα και χρήσιμη τεχνολογία. Άλλα σημαντικά πειράματα του Φραγκλίνου που δεν εντυπωσίαζαν όμως όπως το αλεξικέραυνο, ήταν η μελέτη «μεταφοράς» του ηλεκτρισμού, όταν ο φορέας ήταν μονωμένος. Οι άνθρωποι που συμμετείχαν στα πειράματα πατούσαν επάνω σε κεριά και δεν είχαν άλλη επαφή με το έδαφος. Το συμπέρασμα ήταν ότι πρέπει να υπήρχε ένα μόνο ηλεκτρικό ρευστό, το οποίο μεταβιβαζόταν σε κάθε άτομο που ήταν μονωμένο. Κατά τη μεταφορά του ηλεκτρισμού, έλεγε ο Φραγκλίνος, το άτομο που είναι ηλεκτρισμένο έχει περίσσειμα του ηλεκτρικού ρευστού και το άλλο άτομο που παρέδωσε τον ηλεκτρισμό. Έχει έλλειμμα του ρευστού. Όποιος έχει περίσσειμα ηλεκτρισμού, είναι θετικά φορτισμένος και όποιος έχει έλλειμμα είναι αρνητικά φορτισμένος. Σήμερα ονομάζουμε αρνητικά φορτισμένο το σώμα που έχει περίσσειμα ηλεκτρονίων ή έλλειμμα οπών και αντιστρόφως. Σ' αυτά και άλλα όμοια πειράματα χρησιμοποιείτο η μηχανή ηλεκτρίσεως που παρήγαγε ηλεκτρισμό με τριβή. Βασικό πρόβλημα αυτής της μηχανής ήταν ότι, όσο υψηλή τάση κι αν δημιουργείτο (με σημερινή ορολογία: μερικές χιλιάδες βολτ), η παρεχόμενη ισχύς δεν ήταν σταθερή (ασταθές ρεύμα), οπότε ήταν ακατάλληλη για πραγματοποίηση πειραμάτων υπό σταθερές συνθήκες.

2.3 Η λουγδουνική φιάλη

Η πιο εντυπωσιακή επινόηση του 18ου αιώνα στη μελέτη του ηλεκτρισμού ήταν αυτή του Ewald Georg Kleist (Κλάιστ, 1700-1748), η οποία περιγράφηκε όμως διεξοδικά από τον Pieter van Musschenbroek και γι' αυτό πήρε το όνομα της ολλανδικής πόλης Λούγδουνο (Leyden). Ο Μούσενμπρουκ περιγράφει το έτος 1746 το «φοβερό κτύπημα» που δέχτηκε από μια φιάλη, γεμάτη με νερό, στην οποία είχε μεταφερθεί «ηλεκτρικό πυρ». Προφανώς επρόκειτο για ένα πυκνωτή, ο οποίος αποθήκευε τον ηλεκτρισμό. Δεν άργησε δε πολύ να κατασκευαστούν συστοιχίες λουγδουνικών φιαλών, δηλαδή διατάξεις παράλληλων ή επάλληλων πυκνωτών, οι οποίες ήταν σε θέση να αποθηκεύσουν πολύ σημαντικές ποσότητες ηλεκτρισμού. Με τη λουγδουνική φιάλη ενισχύθηκαν το φορτίο ή η δημιουργούμενη τάση, αλλά παρέμενε ασταθής η παρεχόμενη ισχύς.



Εικόνα 9: Η λουγδουνική φιάλη

Διάφοροι πειραματιστές χρησιμοποιούσαν τη λουγδουνική φιάλη για επιδείξεις, συχνά με τεράστιο κίνδυνο για τους συμμετέχοντες. Ο πειραματιστής και δάσκαλος της Φυσικής Jean Antoine Nollet (Νολέ, 1700-1770) ηλέκτρισε για τη διασκέδαση του βασιλιά Λουδοβίκου XV και των αυλικών, μια φορά 180 χωροφύλακες και μια άλλη φορά 200 μοναχούς και περιγράφει το αποτέλεσμα ως εξής: «Είναι μοναδικό να βλέπεις την ποικιλία των διαφορετικών χειρονομιών και να ακούς τις ξαφνικές κραυγές όσων αιφνιδιάζονταν από το τράνταγμα του ηλεκτρισμού». Ηλεκτροσόκ για την ψυχαγωγία των «αριστοκρατών»!

Το φάσμα των «καλλιεργητών» της νέας επιστήμης του Ηλεκτρισμού ήταν πολύχρωμο και ετερόκλητο. Από σεβαστούς φυσιοδίφες, μέχρι σαρλατάνους ολκής, όπως ο Λονδρέζος James Graham που δημιούργησε ένα Κέντρο Υγείας (Temple of Health) και γιάτρευε πάσαν νόσον, παραπλανώντας τους αφελείς. Ανάμεσα στα δύο αυτά άκρα υπήρχε ένα πλήθος ερασιτεχνών, το οποίο επαναλάμβανε τα γνωστά πειράματα, άλλοτε σε σαλόνια συναναστροφών για επίδειξη και άλλοτε σε εργαστήρια για επιβεβαίωση και μελέτη, συχνά δε δυσφημώντας ταυτόχρονα άλλους ερευνητές που ισχυρίζονταν διαφορετικά πράγματα για τη φύση και τις εφαρμογές του Ηλεκτρισμού. Αυτό που παραξένευε τους ερευνητές της εποχής ήταν ο φορέας του ηλεκτρισμού, ένας «αιθέρας» που πιθανόν να περιέβαλε τα ηλεκτρισμένα σώματα. Ο Φραγκλίνος έκανε πειράματα με καπνό για να εντοπίσει αυτό τον αιθέρα, ο Νολέ χρησιμοποιούσε σκόνη. Η συμπεριφορά του γυαλιού ήταν επίσης ακατανόητη: Πέρναγε η «ηλεκτρική αναθυμίαση» μέσα από το γυαλί ή όχι; Οι πειραματιστές είχαν φτάσει σε απόγνωση, γιατί ενώ η εφαρμογή ηλεκτρικών δυνάμεων ήταν δυνατή μέσα από χοντρό γυαλί, σταματούσε αμέσως μόλις παρεμβαλλόταν ένα λεπτό βρεγμένο ύφασμα.

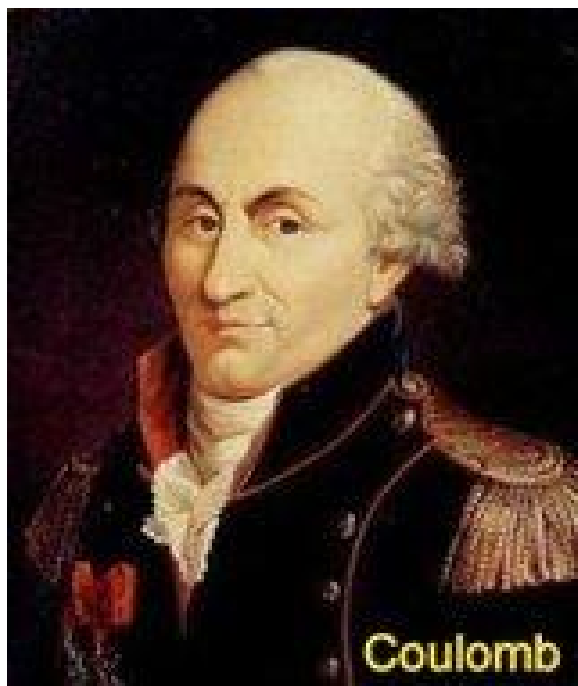
Στην πορεία των πειραματισμών κατασκευάστηκαν κι άλλοι τύποι λουγδουνικής φιάλης από τους Franz Aepinus, Johann Wilke (1762) και Volta (1775). Ειδικότερα ο Alessandro Volta (Βόλτα, 1745-1827) κατασκεύασε ένα αέναο ηλεκτροφόρο (elettroforo perpetuo), που ήταν, με σημερινή ορολογία, ένας πυκνωτής με ρητίνη και κερί ως μονωτικά υλικά. Αυτό το «ηλεκτροφόρο» αποτελούσε μια φαινομενικά διαρκή πηγή ηλεκτρισμού. Επειδή ο ηλεκτρισμός της διάταξης φαινόταν ανεξάντλητος, ο Βόλτα συμπέρανε ότι κανένας αιθέρας και καμιά ατμόσφαιρα δεν υπήρχε, γιατί θα είχαν εξαντληθεί.

Την ίδια εποχή άρχισε η προσπάθεια για μέτρηση των μεγεθών του ηλεκτρισμού, αλλά βεβαίως ήταν άγνωστο τί και πώς θα μετρηθεί. Για να γίνει αυτό δυνατόν ήταν απαραίτητη μια θεωρία που συσχέτιζε τη δύναμη, το ηλεκτρικό πυρ, το μέγεθος της λουγδουνικής φιάλης και την ένταση του τραντάγματος, αλλά τέτοια θεωρία έλειπε. Το ηλεκτροσκόπιο έδειχνε απλώς αν υπάρχει ηλεκτρισμός και η γωνία που σχημάτιζαν μεταξύ τους τα δύο φύλλα χρυσού ήταν ενδεικτική της ποσότητας. Το όργανο δεν λειτουργούσε γραμμικά και στη λειτουργία του έπαιζε ρόλο το βάρος των φύλλων χρυσού. Οι ερευνητές του 18ου αιώνα πίστευαν ότι η λειτουργία της λουγδουνικής φιάλης αντιστοιχούσε περίπου με αυτή ενός κανονιού: Ο πειραματιστής «γέμιζε» και «πυροδοτούσε» μια φιάλη, όπως γινόταν στο πυροβολικό.

Το 1788 διατύπωσε ο Βόλτα την άποψη ότι το φορτίο σε μία λουγδουνική φιάλη είναι ανάλογο προς την ένταση του ηλεκτρισμού (σήμερα λέμε την τάση) και προς την περιεκτικότητα της φιάλης (σήμερα μιλάμε για τη χωρητικότητα του πυκνωτή). Αυτή η σχέση γράφεται σήμερα στη μορφή $Q = CU$ και είναι ουσιαστικά η πρώτη εξίσωση για ποσοτικοποίηση του ηλεκτρισμού. Ο Βόλτα δεν κατάφερε όμως να την επιβεβαιώσει, γιατί δεν είχε κατάλληλα όργανα στη διάθεσή του.

Καλύτερη τύχη είχαν οι προσπάθειες να μετρηθεί η ηλεκτρική δύναμη. Ο John Robinson (Ρόμπινσον, 1739-1805) δημιούργησε ισορροπία μεταξύ ηλεκτρικής άπωσης και βαρυτικής έλξης και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι δύο αυτές δυνάμεις είχαν ανάλογη συμπεριφορά. Το 1785 χρησιμοποίησε ο Charles Augustin de Coulomb (Κουλόμπ, 1736-1806) ένα σπειροειδές σύρμα (συστροφικός ζυγός) για να αντισταθμίσει την ηλεκτρική δύναμη. Η ακρίβεια στις μετρήσεις του Κουλόμπ έθεσε νέα πρότυπα στην πειραματική φυσική. Σημαντικότερους από τους ερευνητές της εποχής πρέπει να θεωρείται όμως ο Henry Cavendish (Κάβεντις, 1731-1810), ο οποίος απέφευγε όμως τους «ερασιτέχνες» και απευθυνόταν στους μνημένους, με αποτέλεσμα να μην γίνει αρκετά γνωστός. Ο Κάβεντις μέτρησε την ηλεκτρική δύναμη ήδη το 1771 και

έκανε και την πρώτη μαθηματική ανάλυση του πειραματικού σφάλματος. Για να μετρήσει ηλεκτρικά μεγέθη, έκανε διάφορες συνδέσεις με σύρματα διαφορετικών μηκών και συνέδεε τον εαυτό του παράλληλα με αυτά. Από το τράνταγμα που δεχόταν το σώμα του κατέγραφε τις τιμές της αντίστασης των αγωγών. Τα σφάλματά του ήταν πάντα μικρότερα του 10%!



Εικόνα 10: Charles Augustin de Coulomb

2.4 Το ηλεκτρικό ρεύμα

Στα τέλη του 18ου αιώνα, ο οποίος άρχισε με το «βαρομετρικό φως», ανακαλύφθηκε το ηλεκτρικό ρεύμα. Ο Luigi Galvani (Γαλβάνι, 1737-1798), καθηγητής ανατομίας στο πανεπιστήμιο της Μπολόνια, παρατήρησε ότι όταν η λάμα του νυστεριού του άγγιζε το μηριαίο νεύρο ενός βατράχου, τον οποίο έκοβε εκείνη τη στιγμή, το πόδι τινάζόταν και μάλιστα στο ρυθμό μιας ηλεκτροστατικής μηχανής που σπινθήριζε στο εργαστήριο. Αρχικά υπέθεσε ο Γαλβάνι ότι ανακάλυψε ένα νέο είδος ηλεκτρισμού, ζωικής προέλευσης. Όταν όμως κρέμασε τα πόδια του βατράχου με ορειχάλκινα τσιγκέλια σε σιδερένιο πλαίσιο για να διαπιστώσει αν τα πόδια έλκουν τον ατμοσφαιρικό ηλεκτρισμό, τα πόδια τινάζονταν, όταν πίεζε τα τσιγκέλια στο πλαίσιο. Αν τα τσιγκέλια ήταν επίσης από σίδηρο, δεν παρουσιαζόταν τίναγμα, με δύο μέταλλα επαναλαμβανόταν όμως το φαινόμενο. Ο Γαλβάνι προσπαθούσε να εξηγήσει το μυστήριο τίναγμα των βατραχοπόδαρων με πιθανές ιδιαιτερότητες στην ανατομία του βατράχου.

Ο Βόλτα που πληροφορήθηκε για το φαινόμενο, αγνοούσε τυχόν ιδιομορφίες του βατράχου, υπέθεσε όμως ότι η επαφή των δύο μετάλλων ήταν αυτή που δημιουργούσε το φαινόμενο και ότι τα βατραχοπόδαρα ήταν απλώς ανιχνευτές του ηλεκτρισμού. Για να κάνει πιο εμφανές το φαινόμενο, δημιούργησε ο Βόλτα επάλληλες επαφές πολλών μεταλλικών συνδέσεων. Αρχικά δεν πήρε ικανοποιητικά αποτελέσματα, μέχρι που δοκίμασε το συνδυασμό αργύρου (Α) και ψευδαργύρου (Ψ), διαχωρίζοντας κάθε ζεύγος των δύο μετάλλων με ένα βρεγμένο χαρτόνι (x).



Εικόνα11: Γραμματόσημα αφιερωμένα στον Αλεσσάντρο Βόλτα

Αποτέλεσμα ήταν να παραχθεί ηλεκτρισμός, όχι όμως πια με τη μορφή σπινθήρα, όπως στη λουγδουνική φιάλη, αλλά με σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα. Η βολταϊκή στήλη ή το γαλβανικό στοιχείο, όπως ονομάστηκε αυτή η εφεύρεση του Βόλτα, βελτιώθηκε σύντομα από τον ίδιο και άλλους ερευνητές και χρησιμοποιήθηκε για τη διάσπαση του νερού σε οξυγόνο και υδρογόνο (ηλεκτροχημεία) και στη μελέτη άλλων ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Με επάλληλη σύνδεση πολλών ίδιων στοιχείων δημιουργήθηκε μια συστοιχία (μπαταρία) που έδινε αντίστοιχα υψηλή τάση. Η παράλληλη σύνδεση τέτοιων στοιχείων έδινε ισχυρότερα ρεύματα. Από εκεί και πέρα ήταν πια εύκολο να δημιουργηθεί με πολλαπλά επάλληλα και παράλληλα στοιχεία μία πηγή με τάση και ρεύμα σε προκαθορισμένα επίπεδα. Η έναρξη χρήσης της βολταϊκής στήλης το έτος 1800, ακριβώς 200 χρόνια μετά τη δημοσίευση του βιβλίου του Τζίλμπερτ, σηματοδοτεί ουσιαστικά την είσοδο στην τεχνολογία του ηλεκτρομαγνητισμού. Το βολταϊκό στοιχείο βελτιώθηκε σημαντικά μερικές δεκαετίες

αργότερα. Ο φυσικός John Daniell (Ντάνιελ, 1790-1845) παρουσίασε το 1837 μία κατασκευή από ένα γυάλινο δοχείο, γεμάτο με αραιωμένο θειικό οξύ. Σ' αυτό το διάλυμα βρίσκεται ένας κύλινδρος από ψευδάργυρο (αρνητικός πόλος) και μέσα στον κύλινδρο είναι τοποθετημένο ένα ημιδιαπερατό δοχείο με θειικό χαλκό. σ' αυτόν είναι βυθισμένη μία χάλκινη ράβδος (θετικός πόλος). Μία παραλλαγή του στοιχείου Ντάνιελ παρουσιάστηκε και από τον φυσικό Robert Wilhelm Bunsen (Μπούνζεν, 1811-1899).

Ένα ακόμα στοιχείο ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάστηκε το 1842 από τον Johann C. Poggendorf (Πόγκεντορφ, 1796-1877). Αυτό το στοιχείο αποτελείτο από δύο πλάκες άνθρακα βυθισμένες σε οξύ χρωμίου και ανάμεσά τους μία πλάκα ψευδαργύρου. Σε περίπτωση που η διάταξη ήταν εκτός λειτουργίας, αφαιρείτο για λόγους οικονομίας η πλάκα ψευδαργύρου.

2.5 Η γεννήτρια συνεχούς ρεύματος

Το έτος 1866 έκανε ο Ζήμενς δοκιμές με τον κινητήρα δυναμό, ο οποίος είχε ως πηγή τροφοδοσίας τις γνωστές μπαταρίες. Μία από τις παρατηρήσεις του αφορούσε το απορροφόμενο από τον κινητήρα ρεύμα, το οποίο μειωνόταν με αυξανόμενο αριθμό στροφών, λόγω της αντιλεκτρεγερτικής δύναμης του δρομέα. Αυτό το φαινόμενο οδήγησε τον Ζήμενς στην ιδέα να αντιστρέψει τη φορά περιστροφής του δρομέα με εξωτερική κίνηση, αρχικά χειροκίνητα με μανιβέλα.

Αποτέλεσμα ήταν να προκύψει η λειτουργία της ηλεκτρικής γεννήτριας που οφείλεται στον παραμένοντα μαγνητισμό του σιδήρου. Αυτό το ασθενές υπόλοιπο μαγνητισμού επάγει με την περιστροφή του δρομέα ένα ασθενές ρεύμα, το οποίο ενισχύει το μαγνητισμό και ο οποίος, με τη σειρά του, ενισχύει και πάλι το ρεύμα κ.ο.κ. Αυτή η αλληλοκλιμάκωση διαρκεί μέχρι του σημείου τομής της χαρακτηριστικής καμπύλης της γεννήτριας και της ευθείας του συνδεδεμένου φορτίου. Η μηχανή αυτή ονομάστηκε γεννήτρια σε σύνδεση σειράς, επειδή τα πηνία του δρομέα και του ροοστάτη ήταν επάλληλα ή σε σειρά συνδεδεμένα. Η παρουσίαση αυτής της νέας κατασκευής έγινε στην Ακαδημία Επιστημών στο Βερολίνο τον Ιανουάριο του 1867.

Ο Γουϊτστόουν παρουσίασε το ίδιο έτος μία άλλη μηχανή, φαινομενικά διαφορετική, η οποία στηριζόταν σε μια επινόηση του μηχανικού H. Wilde. Από την ανάλυση του τρόπου λειτουργίας της διαπιστώθηκε ότι επρόκειτο για την ίδια περίπου γεννήτρια με αυτή του Ζήμενς, μόνο που τα δύο πηνία ήταν παράλληλα συνδεδεμένα και είχε κάποια διαφορετικά χαρακτηριστικά τυλιγμάτων. Μία διένεξη μεταξύ των δύο εφευρετών που ανέκυψε για την «πρωτιά» έπαιξε μόνο δευτερεύοντα ρόλο, αφού επισκιάστηκε από το πολύ

σημαντικότερο γεγονός ότι επιτέλους ήταν πια δυνατή η απελευθέρωση από τις ηλεκτροχημικές πηγές. Με κινητήρια μια ατμομηχανή ήταν πλέον δυνατόν να εγκαθίστανται ηλεκτρογεννήτριες για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η γεννήτρια του Ζήμενς δημιουργούσε το συνεχές ρεύμα σε παλμική μορφή και ο συλλέκτης παρουσίαζε σπινθηρισμούς. Το έτος 1869 κατασκεύασε ο μηχανικός Zenobe Theophile Gramme (Γκραμ, 1826-1901) μία γεννήτρια με δακτυλιοειδή δρομέα, με τον οποίο μειώνονταν τα προαναφερόμενα προβλήματα, αλλά προκαλούσε νεότερα, τα οποία λύθηκαν το 1872 με παρέμβαση του Friedrich von Hefner-Alteneck (Χέφνερ, 1845-1904). Τα επόμενα 20 χρόνια κατασκευάζονταν οι γεννήτριες Σ.Ρ. με αυτά τα κατασκευαστικά στοιχεία.

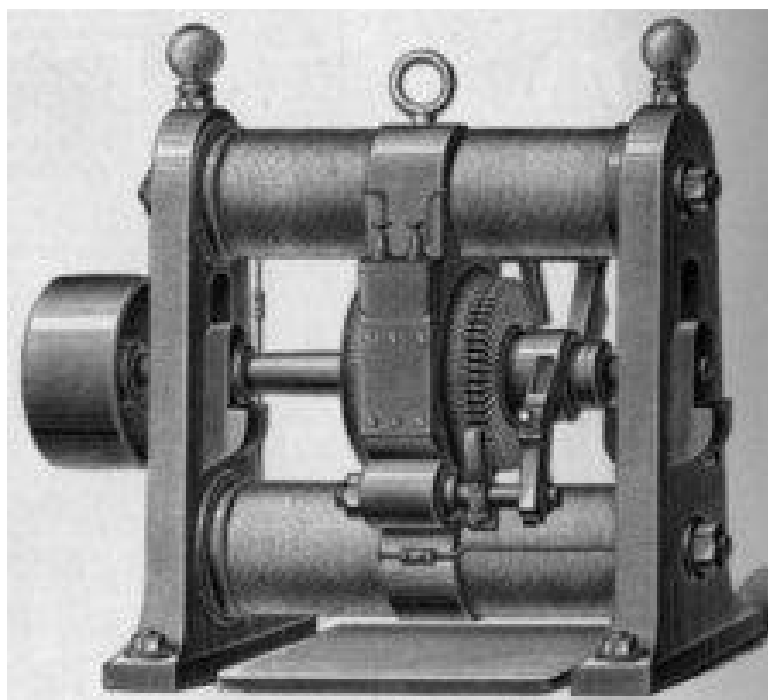
Μια ενδιαφέρουσα κατασκευή της δεκαετίας του 1880 ήταν ένα «ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος», το οποίο μεταφερόταν με άλογα στον τόπο φωτισμού και μια ατμομηχανή κινούσε την ηλεκτρική γεννήτρια. Η παρεχόμενη στη λάμπα ισχύς ήταν 4kW. Αυτά τα ζεύγη λειτουργούσαν μέχρι και τη δεύτερη δεκαετία του 20ου αιώνα, αρχικά σε πόλεις και, όταν τοποθετήθηκαν εκεί δίκτυα ηλεκτρικού, σε χωριά και αγροτικές περιοχές.

2.6 Συνεχές ή Εναλλασσόμενο ρεύμα

Ο περιστρεφόμενος δρομέας της γεννήτριας ήταν δυνατόν να παρέχει συνεχές (ΣΡ) ή εναλλασσόμενο (ΕΡ) ρεύμα, ανάλογα, αν στο άξονα είχαν εγκατασταθεί δακτύλιοι τριβής ή αντιμεταθέτες. Επειδή όλες οι σημαντικές τεχνικές εφαρμογές απαιτούσαν ΣΡ (ηλεκτρόλυση, φόρτιση μπαταριών, φωτισμός με λυχνίες βολταϊκού τόξου κ.ά.), η παραγωγή του ΕΡ δεν έπαιζε κάποιο ρόλο. Η γεννήτρια παραγωγής βρισκόταν δίπλα στην κατανάλωση, οπότε την εποχή εκείνη δεν είχε προκύψει πρακτικά το πρόβλημα της τάσης κατά τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας με γραμμές μεγάλου μήκους, αν και ήταν γνωστό θεωρητικά. Γνωστή ήταν επίσης ήδη η αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή, χωρίς να υπάρχει ακόμα ζήτηση γι' αυτές τις μηχανές.

Παρ' όλα αυτά, η συζήτηση για τη σκοπιμότητα ΣΡ ή ΕΡ ήταν έντονη, γιατί όλοι αναγνώριζαν τη μελλοντική σημασία και τις τεχνικές και οικονομικές επιπτώσεις κάθε επιλογής. Οι Edison, λόρδος Kelvin και Werner Siemens ήταν υπέρ του ΣΡ, άλλοι λιγότερο διάσημοι προτιμούσαν το ΕΡ. Τελικά και όταν ο χρόνος έφερε ηρεμία στους προσωπικούς εγωισμούς, εκτιμήθηκε ότι ήταν συμφερότερο το σύστημα του ΕΡ. Οι εξελίξεις έδειξαν μετά από μερικές δεκαετίες ότι αυτή η επιλογή ήταν σωστή και, μερικές χώρες ή πολιτείες που επέλεξαν αρχικά το ΣΡ, ακολούθησαν καθυστερημένα και με σημαντικό κόστος αλλαγών το ΕΡ.

Με τη διάδοση της ηλεκτρικής γεννήτριας επεκτάθηκε και η χρήση των ηλεκτρικών κινητήρων, οι οποίοι ήταν κατά πολύ μικρότεροι και φθηνότεροι από τις ατμομηχανές κι έτσι αφαίρεσαν από εργαζόμενους βαρειές και ανθυγιεινές εργασίες. Σύντομα ήρθε όμως στο προσκήνιο οι μηχανές εσωτερικής καύσης οπότε, αφενός αντικαταστάθηκαν μέχρις εξαφανίσεως οι ατμομηχανές από τις παραγωγικές διαδικασίες, αφετέρου είχαν οι ηλεκτροκινητήρες ανταγωνισμό σε διάφορες εφαρμογές.



Εικόνα 12: Ένας ηλεκτροκινητήρας DC

Γεγονός παραμένει πάντως ότι οι ηλεκτροκινητήρες ΣΡ της εποχής, μαζί με τους μεταγενέστερους μονοφασικούς και τριφασικούς κινητήρες ΕΡ, είχαν πάντα πολύ μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως (σήμερα πάνω από 90%) σε σχέση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης που έχουν βαθμό αποδόσεως μέχρι 35%.

2.7 Το στοιχείο Leclanche

Το έτος 1867 παρουσίασε ο μηχανικός Georges Leclanche (Λεκλανσέ, 1839-1882) ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο νέας μορφής. Αποτελείτο από ένα ηλεκτρόδιο επεξεργασμένου ψευδάργυρου (αρνητικός πόλος), ένα υδατικό διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου, σκόνη άνθρακα και ένα ηλεκτρόδιο άνθρακα (θετικός πόλος). Το στοιχείο αυτό παρείχε τάση περίπου 1,5V και, μετά από διάφορες βελτιώσεις, κατέληξε στα ξηρά στοιχεία που χρησιμοποιούμε μέχρι σήμερα, χωρίς κίνδυνο διαρροής υγρών κτλ.



Εικόνα 13: Georges Leclanche

Η ανάπτυξη αυτής της μπαταρίας ήταν περιπετειώδης, δεδομένου ότι ο Λεκλανσέ είχε εξοριστεί στο Βέλγιο, μαζί με το φίλο του συγγραφέα Βίκτωρα Ουγκώ, λόγω των πολιτικών συγκρούσεων γύρω από την πολιτική του Ναολέοντα Γ' στο Μεξικό. Γι' αυτό και όλες οι εργαστηριακές διατάξεις αυτού του ερευνητή, στις οποίες ανέπτυξε το ξηρό στοιχείο, βρίσκονται σήμερα στο μουσείο των Βρυξελλών. Την εμπορική επιτυχία της μπαταρίας του Λεκλανσέ ευνόησε η συγκυρία του τηλεφώνου, το οποίο απαιτούσε τροφοδοσία και δεν υπήρχαν ακόμα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

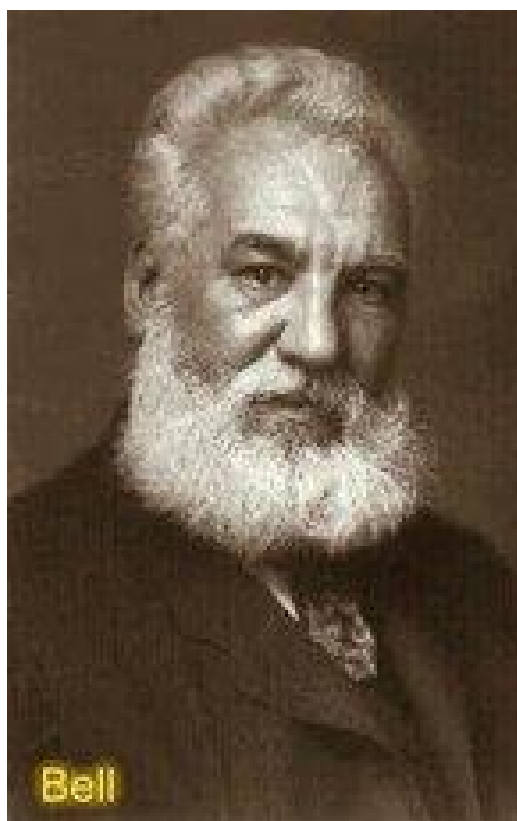
2.8 Το φαινόμενο Kerr

Το έτος 1875 περιέγραψε ο Φυσικός John Kerr (Κερ, 1824-1907) ένα φαινόμενο που πήρε το όνομά του, αλλά έμεινε για πολλά χρόνια αναξιοποίητο. Πρόκειται για τη διαπερατότητα του φωτός σε ορισμένα υγρά, η οποία μεταβάλλεται όταν δημιουργηθεί ηλεκτρικό πεδίο. Το φαινόμενο αυτό αξιοποιήθηκε αρκετές δεκαετίες αργότερα στην εφεύρεση Phonofilm του Lee de Forest για την πραγματοποίηση του ομιλούντος κινηματογράφου και στο τηλεοπτικό σύστημα του Karolus το έτος 1925.

2.9 Το τηλέφωνο

Το έτος 1875 επαναλήφθηκε η ιστορία με τον Μορς και τον τηλέγραφο: Ένας φαινομενικά άσχετος με την Τεχνική, ο καθηγητής φυσιολογίας της φωνής, Alexander Graham Bell (Μπελ, 1847-1922), παρουσίασε ένα σύστημα τηλεμετάδοσης της ανθρώπινης ομιλίας, ένα τηλέφωνο. Για την ακρίβεια, ο Μπελ επινόησε τον ηλεκτρομαγνητικό μετατροπέα ήχου. στο στενό σημείο ενός χωνιού τοποθέτησε μια λεπτή μεταλλική μεμβράνη και ακριβώς δίπλα της βρισκόταν ένα πηνίο, τυλιγμένο σε μία μαγνητική ράβδο. Οι ταλαντώσεις της μεμβράνης από τα ηχητικά κύματα παρήγαγαν στο πηνίο ασθενή ηλεκτρική τάση. Στην άλλη άκρη η ίδια διάταξη λειτουργούσε ως μεγάφωνο. Οι μεταβολές του ρεύματος στο πηνίο προκαλούσαν ταλαντώσεις στη μεμβράνη, η οποία δημιουργούσε έτσι ηχητικά κύματα.

Επειδή σε κάθε πλευρά της τηλεφωνικής γραμμής λειτουργούσε ένα μόνο σύστημα ηλεκτρομαγνητικού μετατροπέα ήχου, έπρεπε ο χρήστης να τοποθετεί το χωνί, άλλοτε στο αυτί για να ακούσει και άλλοτε στο στόμα για να μιλήσει. Η συσκευή αυτή βελτιώθηκε σύντομα από πολλούς τεχνικούς και αποτέλεσε το πρώτο τηλεφωνικό σύστημα με ικανοποιητική λειτουργία.



Εικόνα 14: Alexander Graham Bell

Όμοια τηλεφωνικά συστήματα είχαν παρουσιάσει κατά καιρούς, ήδη από το 1860 διάφοροι τεχνικοί, τα οποία όμως δεν γίνονταν αποδεκτά, το πρώτο δε του Philipp Reis (Ράις) θεωρήθηκε παιδικό παιχνίδι. Αλλά και για το τηλέφωνο του Μπελ, όταν αυτό είχε ήδη βελτιωθεί σημαντικά, γνωμοδότησε το έτος 1876 η εταιρία συμβούλων Western Union Finance Services: «Αυτή η συσκευή έχει τόσες ελλείψεις ώστε πρέπει να θεωρείται ακατάλληλη ως μέσο επικοινωνίας. Αυτό το πράγμα δεν έχει καμία αξία». Είκοσι χρόνια αργότερα, το έτος 1896, όταν ο Μπελ αγωνιζόταν να επιδείξει το τηλέφωνο σε αρχιμηχανικό της βρετανικής τηλεγραφικής εταιρίας, πήρε την απάντηση: «Όχι κύριέ μου, μπορεί οι Αμερικάνοι να χρειάζονται το τηλέφωνο, αλλά εμείς στην Αγγλία δεν το χρειαζόμαστε! Έχουμε πολλούς κλητήρες!» Η εφεύρεση του Μπελ ήταν η αρχή για μία ραγδαία εξέλιξη της τηλεφωνίας: Ήδη το έτος 1878 ιδρύθηκε στο New Haven των ΗΠΑ το πρώτο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο με 21 συνδρομητές. Το 1881 εγκαταστάθηκε το πρώτο τηλεφωνικό δίκτυο της Ευρώπης στο Άμστερνταμ με 49 συνδρομητές. Στα πρώτα χρόνια λειτουργούσαν όλα τα τηλεφωνικά δίκτυα με κλήση στο κέντρο και παραγγελία της σύνδεσης. Συγκεκριμένα, αν ήθελε κάποιος να τηλεφωνήσει, σήκωνε το ακουστικό και γύριζε τη μανιβέλα του επαγωγέα. Με αυτό τον τρόπο έφτανε ένα σήμα στην τηλεφωνήτρια, η οποία μετέτρεπε την παραγγελία για επικοινωνία με κάποιο συνδρομητή σε σύνδεση στον κεντρικό τηλεφωνικό πίνακα. Η αυτόματη τηλεφωνία άρχισε να λειτουργεί κάποια χρόνια αργότερα και διαδόθηκε σταδιακά. Από το 1895 λειτούργησε η πρώτη διεθνής σύνδεση μεταξύ Ολλανδίας και Βελγίου. Η εξέλιξη από εκείνη την εποχή της τηλεφωνίας μέχρι τα σημερινά συστήματα κυψελοειδούς και δορυφορικής τηλεφωνίας είναι περίπου γνωστή.



Εικόνα 15: Τηλεφωνικές συσκευές από τα χρόνια του Μπελ μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα.

Με την εξάπλωση των τηλεφωνικών δικτύων έγινε αναγκαία η τοποθέτηση υπόγειων καλωδίων πολλαπλών αγωγών. Εδώ προέκυψε όμως το πρόβλημα ότι η απόσβεση των σημάτων στα υπόγεια μονωμένα καλώδια ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη των εναέριων αγωγών. Αρχικά αντιμετωπίστηκε το πρόβλημα μέχρις ενός σημείου με την τεχνητή αύξηση της αυτεπαγωγής των καλωδίων, σύμφωνα με μια πρόταση του Φυσικού Oliver Heaviside (Χεβυσάιτ,

1850-1925). Το έτος 1899 πρότεινε όμως ο σέρβικης καταγωγής Αμερικάνος Michael Pupin (Πουπίν, 1858-1935) ένα καλώδιο, στο οποίο σε συγκεκριμένες σταθερές αποστάσεις παρενέβαλε πηνία. Με αυτή τη μέθοδο βελτιώθηκε σημαντικά η συμπεριφορά των καλωδίων. Ο δίσκος στις τηλεφωνικές συσκευές για την επιλογή του αριθμού τηλεφώνου του άλλου συνδρομητή είναι επινόηση ενός διευθυντή γραφείου κηδειών (!), του Almon B. Stroeger (1839-1902). Όλες οι εταιρίες της εποχής, ευρωπαϊκές και αμερικάνικες, εξαγόρασαν την ευρεσιτεχνία του ιδιότυπου κατασκευαστή και τη χρησιμοποίησαν στις συσκευές τους.

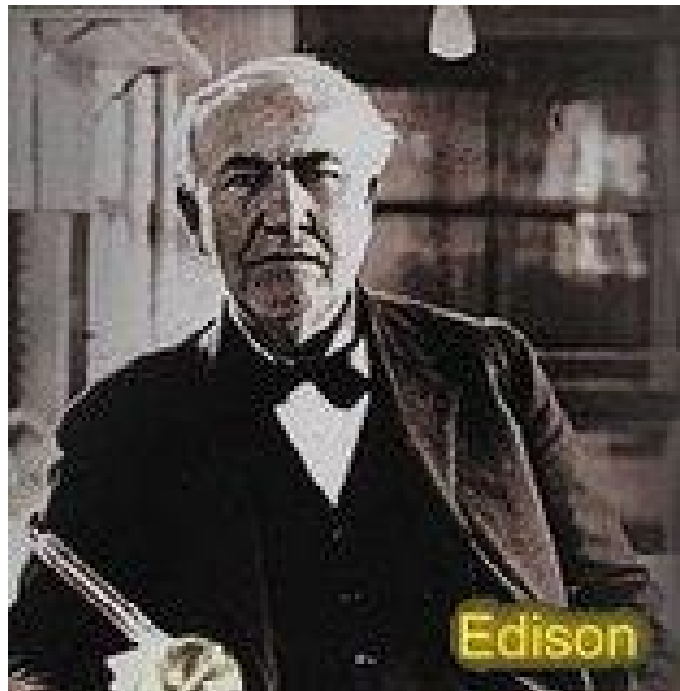
Για τη βελτίωση της ποιότητας του μεταφερόμενου ήχου μέσω του τηλεφωνικού δικτύου, κατασκευάστηκαν σταδιακά βελτιωμένα μικρόφωνα και ακουστικά με τέτοια ικανοποιητική απόδοση, ώστε η εταιρία Siemens παρουσίασε περί το έτος 1900 μία τηλεφωνική συσκευή σε μικρογραφία, την οποία διέθεσε στην αγορά ως ακουστικά βαρυκοΐας. Σ' αυτά τα ακουστικά δόθηκε το όνομα φωνόφωνο, το οποίο όμως δεν επικράτησε.

2.10 Ο φωνόγραφος

Το έτος 1877 κατέθεσε αίτηση για απόκτηση τίτλου ευρεσιτεχνίας ο ήδη ευρύτερα γνωστός εφευρέτης Thomas Alva Edison (Έντισον, 1847-1931), με θέμα μία συσκευή, την οποία ονόμασε φωνόγραφο (phonograph) και ήταν ο πρόδρομος του μεταγενέστερου γραμμοφώνου. Η συσκευή αυτή λειτουργούσε με ένα ξύλινο κύλινδρο που περιστρεφόταν χειρονακτικά με μανιβέλα και ο οποίος ήταν καλυμμένος με ένα λεπτό φύλλο κασσιτέρου (Staniol). Μία μεταλλική βελόνα ήταν σταθερά συνδεδεμένη με μια μεμβράνη, η οποία πραγματοποιούσε ταλαντώσεις λόγω ηχητικών κυμάτων, με αποτέλεσμα η βελόνα να δημιουργεί βαθουλώματα στο φύλλο κασσιτέρου, άλλοτε μεγαλύτερα και άλλοτε μικρότερα, ανάλογα με την ένταση του ήχου. Ένας μηχανικός οδηγός μετακινούσε τη βελόνα αξονικά στον κύλινδρο, ώστε τελικά προέκυπτε ένα σπειροειδές αυλάκι. Όταν γύριζε ο κύλινδρος και πέρναγε η βελόνα πάνω από τη χαραγμένη επιφάνεια, προκαλούσαν τα βαθουλώματα ταλαντώσεις στη μεμβράνη, οι οποίες μετατρέπονταν σε ηχητικά κύματα.

Όπως περιγράφουν άρθρα εφημερίδων της εποχής, η απόδοση της συσκευής του Έντισον ήταν περίπου «άθλια», αλλά ο φωνόγραφος αυτός, τον οποίο ο εφευρέτης του ονόμαζε μηχανή έκανε τεράστια εντύπωση. Όταν όμως δοκίμαζε ο κόσμος την ποιότητα ήχου, εξανεμιζόταν ο ενθουσιασμός και θεωρούσε τη συσκευή ένα ακριβό παιχνίδι. Η τοποθέτηση του φύλλου κασσιτέρου ήταν περίπλοκη και η αντοχή του σε πολλαπλή χρήση περιορισμένη.

Το έτος 1881 προσπάθησε ο εφευρέτης του τηλεφώνου Μπελ να βελτιώσει το φωνόγραφο του Έντισον. Για το σκοπό αυτό κάλυψε τον ξύλινο κύλινδρο με κερί, πάνω στο οποίο θα χαρασσόταν το αυλάκι του ήχου. Η προσπάθεια αυτή έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, κυρίως όμως δεν περιείχε άσχετους θορύβους, όπως η κατασκευή του Έντισον. Το 1886 δήλωσε για ευρεσιτεχνία μια όμοια κατασκευή με επίστρωση κεριού στο κύλινδρο ο Charles Sumner Tainter (Ταίντερ, 1854-1940) και το ονόμασε γραφόφωνο (graphophone). Εναντίον του Ταίντερ κινήθηκε δικαστικά ο Έντισον, θεωρώντας ότι επρόκειτο για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας.



Εικόνα 16: Thomas Alva Edison

Το 1888 αντικατέστησε ο ίδιος ο Έντισον το φύλλο κασσιτέρου με στρώμα σκληρού κεριού και τοποθέτησε στη συσκευή ένα μηχανικό κινητήρα με βαρύδι. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε ένας μηχανικός κινητήρας με ελατήριο και μανιβέλα για κούρδισμα και στη συνέχεια, σε μερικά μοντέλα, ένας ηλεκτρικός κινητήρας. Να σημειωθεί βέβαια ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες ήταν εκείνη την εποχή και για αρκετές δεκαετίες ακόμα ογκώδεις και ακριβοί. Για την ενίσχυση του ήχου χρησιμοποίησε ο Έντισον το χαρακτηριστικό χωνί που βλέπουμε στις εικόνες και φωτογραφίες του φωνογράφου. Οι κύλινδροι του Έντισον περιείχαν μουσική ή ομιλία διάρκειας περίπου 2 λεπτών.

Η νέα αυτή κατασκευή του Έντισον είχε εμπορική επιτυχία, γιατί προσφερόταν για ιδιωτική καταγραφή της φωνής. Για τη μαζική παραγωγή κυλίνδρων με σύντομες μελωδίες της εποχής ήταν όμως

πολύ κοπιαστική εργασία, γιατί έπρεπε η ορχήστρα ή ο τραγουδιστής να επαναλαμβάνουν με μεγάλη ένταση την εκτέλεση του κομματιού μπροστά σε 7-8 φωνογράφους, οι οποίοι παρήγαγαν από ένα κύλινδρο. Μόλις το 1903 κατασκεύασε ο ίδιος ο Έντισον μια μηχανή, η οποία ήταν σε θέση να αντιγράφει έναν αρχικό κύλινδρο.



Εικόνα 17: Γραμμόφωνο

Το 1886 πρότεινε ο Emile Berliner (Μπερλίνερ, 1851-1929), Αμερικάνος από το Ανόβερο της Γερμανίας, να αντικατασταθεί ο κύλινδρος με «αυλάκι ήχου» του Έντισον, με μία επίπεδη πλάκα όπου, μετά από διάφορες βελτιώσεις, μία ελικοειδής διαδρομή σχημάτιζε ένα συνολικό αυλάκι σε όλη την επιφάνεια της πλάκας και η βελόνα έκανε ταλαντώσεις, εγκάρσια στην κίνηση. Ενώ δηλαδή η κεφαλή της συσκευής του Έντισον εκτελούσε κινήσεις πάνω-κάτω για να ανιχνεύσει τα βαθουλώματα της επιφάνειας, στη συσκευή του Μπερλίνερ έπαιζαν ρόλο τα τοιχώματα του αυλακιού και η βελόνα πραγματοποιούσε κινήσεις δεξιά-αριστερά. Έτσι, ξεπέρασε ο Μπερλίνερ και τον κίνδυνο να συρθεί ενώπιον δικαστηρίων για καταπάτηση ευρεσιτεχνιών του Έντισον. Ο Μπερλίνερ δήλωσε τη συσκευή του για ευρεσιτεχνία και την ονόμασε γραμμόφωνο (grammophone). Αυτή η μέθοδος είχε δοκιμαστεί ήδη από τον Έντισον και από τον Μπελ, αλλά δεν κρίθηκε αξιοποιήσιμη. Να σημειωθεί δε ότι στα τέλη της δεκαετίας του 1950 συγχωνεύτηκαν από τις εταιρίες που τις εκμεταλλεύονταν οι ευρεσιτεχνίες του Έντισον και του Μπερλίνερ και έτσι προέκυψε η τεχνολογία των στερεοφωνικών δίσκων.

Ο δίσκος (πλάκα) του Μπερλίνερ, αρχικά με διάμετρο 12 cm που γύρναγε με 150 στροφές ανά λεπτό, πήρε σταδιακά τη μορφή που γνωρίζουμε μέχρι τα τέλη του 20ου αιώνα ως δίσκο βινυλίου. Το

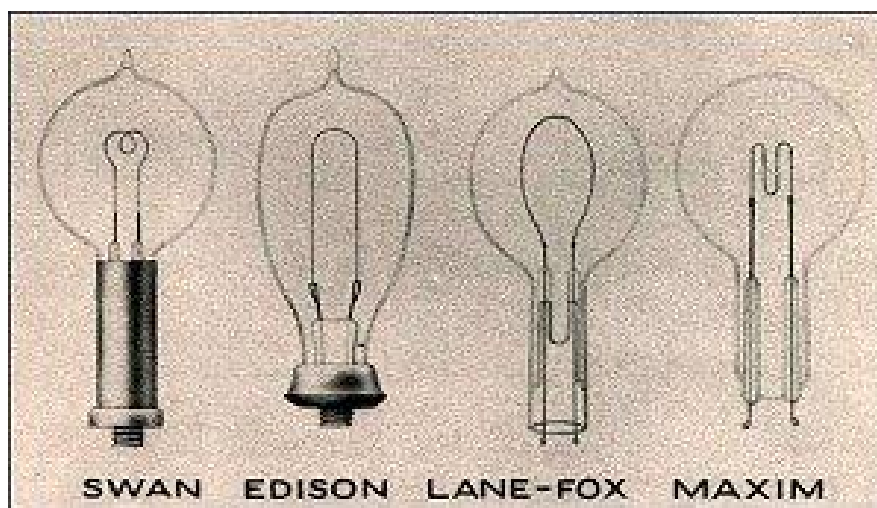
έτος 1901 κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά δίσκοι με διάμετρο 10" (~25 cm). Μέχρι τότε, οι δίσκοι ήταν μονόπλευροι και από την άλλη πλευρά είχαν διαδημιστικές ετικέτες, περίπου όπως είναι σήμερα τα CD και DVD. Το 1904 παρουσίασε η γερμανική εταιρία Odeon τον πρώτο δίσκο διπλής όψης με διαμέτρους 25 και 30 cm και διάρκεια μέχρι 5,5 λεπτά. Αν και τελικά επεβίωσε ακριβώς αυτή η μορφή ηχητικής αποθήκευσης και διατηρήθηκε μέχρι που άρχισε να αντικαθίσταται από τον οπτικό δίσκο (σύμπυκνος δίσκος, compact disk, CD), η ηχητική ποιότητα των δίσκων του Μπερλίνερ ήταν για μερικές δεκαετίες πολύ κατώτερη από αυτή των κυλίνδρων κεριού του Έντισον.

Με τη βελτίωση των ηλεκτρικών κινητήρων και την εισαγωγή του ηλεκτρονικού ενισχυτή, το γραμμόφωνο αντικαταστάθηκε σταδιακά από το ηλεκτρικό γραμμόφωνο που πήρε στην καθημερινή γλώσσα το όνομα pickup (=μαζεύω, συλλέγω, πικάπ). Εντωμεταξύ είχαν αξιοποιηθεί ο ηλεκτρονικός ενισχυτής λυχνιών και οι μικροί ηλεκτρικοί κινητήρες, με τους οποίους πήρε πλέον το γραμμόφωνο και ο ήχος του σημαντικά ανώτερη ποιότητα. Μερικές φορές χρησιμοποιείται και ο όρος ηλεκτρόφωνο, ο οποίος όμως χαρακτηρίζει στις αρχές του 20ου αιώνα την τηλεφωνική μετάδοση ειδήσεων και γι' αυτό δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως για τις ηλεκτρικές συσκευές αναπαραγωγής ήχου.

2.11 Ο ηλεκτρικός λαμπτήρας

Ήδη από το έτος 1844 είχε ηλεκτροφωτιστεί η Place de la Concorde στο Παρίσι με χρήση βολταϊκού τόξου, λύση που είχε σημαντικά τεχνικά προβλήματα. Στη δεκαετία του 1860 προσπάθησε ο Άγγλος τεχνικός Josef Swan να κατασκευάσει λάμπες με νήμα άνθρακα, αλλά η επιτυχία είχε μικτή διάρκεια, αφού μετά από μερικά λεπτά το νήμα καταστρεφόταν. Μετά από ένα διάλειμμα 18 ετών, άρχισε ο ίδιος το 1878 πάλι δοκιμές, αξιοποιώντας όμως την αντλία υψηλού κενού που είχε εντωμεταξύ εφευρεθεί. Πράγματι, η διάρκεια ζωής της λυχνίας με κενό αέρα είχε πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από ότι είχε προηγουμένως. Το 1879 παρουσίασε ο Swan την εφευρεσή του στη δημοσιότητα, αλλά διαπίστωσε ότι είχε αργήσει λίγοΜερικούς μήνες πριν είχε υποβάλει ο Thomas Edison στην Αμερική αίτηση ευρεσιτεχνίας για μια όμοια λάμπα κενού. Ο Edison ισχυριζόταν ότι είχε ήδη κάνει επίδειξη της λυχνίας του, αλλά κανείς δεν είδε κάποιο δείγμα της εφευρεσής του. Μάλλον επρόκειτο για πετυχημένη παραπλάνηση της κοινής γνώμης! Η διαφορά του Edison από τους άλλους εφευρέτες ήταν ότι, ενώ αυτοί πρώτα ερευνούσαν και υπολόγιζαν τις συσκευές τους, μέχρι να αποκτήσουν βεβαιότητα για τη λειτουργία τους, πριν βγουν στη δημοσιότητα, είχαν δηλαδή την επιστημονική νοοτροπία, ο Edison κατασκεύαζε εμπειρικά κάτι και, εφόσον αυτό λειτουργούσε στοιχειωδώς, αναζητούσε με την ησυχία

του τη θεωρητική εξήγηση, αφού είχε υποβάλει τη σχετική αίτηση ευρεσιτεχνίας. Έτσι έφτασε στα περίπου 1.400 διπλώματα ευρεσιτεχνίας, πολλά από τα οποία δεν απέκτησαν ποτέ σημασία.



Εικόνα 18: Τύποι Λαμπτήρων Πυρακτώσεως

Την πρωτοχρονιά του 1879 παρουσίασε ο Edison μια συστοιχία από 50 λαμπτήρες, οι οποίες έπαιρναν ρεύμα από μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος. Το 1882 άρχισε η βιομηχανική παραγωγή των λαμπτήρων στο ιδιόκτητο εργοστάσιο «Edison Lamp Company» στο New Jersey, το οποίο είχε συγκροτήσει ο Edison με ξένες χρηματοδοτήσεις. Εντωμεταξύ είχε αντικατασταθεί το νήμα άνθρακα από σκληρές ίνες ιαπωνέζικου μπαμπού. Στη Μεγ. Βρετανία άρχισε ο Swan την κατασκευή λαμπτήρων ήδη από το 1880, επιλέγοντας ως νήμα πυρακτώσεως επεξεργασμένες με άνθρακα ίνες βαμβακιού.

2.12 Το μικρόφωνο

Στις δεκαετίες του 1860 και '70 υπήρχε γενικότερη άμιλλα για την εφεύρεση μιας συσκευής, η οποία θα μετέτρεπε τις μεταβολές πίεσης των ηχητικών κυμάτων σε ταλαντώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος. Εξετάζονταν για το σκοπό αυτό όλες οι γνωστές αρχές της Φυσικής, ηλεκτρομαγνητικές, ηλεκτροστατικές, αγωγιμότητας κτλ. Μέχρι σήμερα δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ποιος από τους David Hughes, Thomas Edison, Thomson, Philipp Reis κ.ά. είναι τελικά ο εφευρέτης του μικροφώνου. Ο Hughes (Χιους, 1831-1901) παρουσίασε στη Royal Society ένα δείγμα του μικροφώνου του τον Μάιο 1878. Πρόκειται για το μικρόφωνο άνθρακα, στο οποίο μεταβαλλόταν η αγωγιμότητα του άνθρακα ανάλογα με τα ηχητικά κύματα κι έτσι δημιουργείτο μεταβαλλόμενο ρεύμα σε ένα κλειστό κύκλωμα συνεχούς ρεύματος. Το μικρόφωνο αυτό είχε μικρή ευαισθησία στις ακουστικές συχνότητες και ουσιαστικά επέτρεπε

μόνο τη μετάδοση φωνής, δηλαδή περίπου στο φάσμα 300Hz-3kHz. Ένα ακατανόητο φαινόμενο, να κολλάνε οι κόκκοι άνθρακα μεταξύ τους, μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας του μικροφώνου και να μη μεταβάλλεται πια η αγωγιμότητα, δεν κατέστη δυνατόν να εξηγηθεί από τον εφευρέτη. Ο Σουηδός Ericsson τροποποίησε γι' αυτό το λόγο το έτος 1888 το μικρόφωνο του Hughes, υποδιαιρώντας τη μάζα των κόκκων άνθρακα σε 6 διαχωρισμένες κάμαρες. Το ανεξήγητο φαινόμενο κολλήματος των κόκκων μειώθηκε, αλλά δεν εκμηδενίστηκε βέβαια, πάντως το μικρόφωνο λειτουργούσε, μαζί με κάποιες άλλες βελτιώσεις. Τέτοια μικρόφωνα άνθρακα υπάρχουν ακόμα σε παλιές αναλογικές τηλεφωνικές συσκευές.



Εικόνα 19:David Hughes

Εκτός από το μικρόφωνο άνθρακα καθιερώθηκε στην Αμερική και το ηλεκτρομαγνητικό μικρόφωνο που είχε κατασκευάσει ο Bell το έτος 1877.

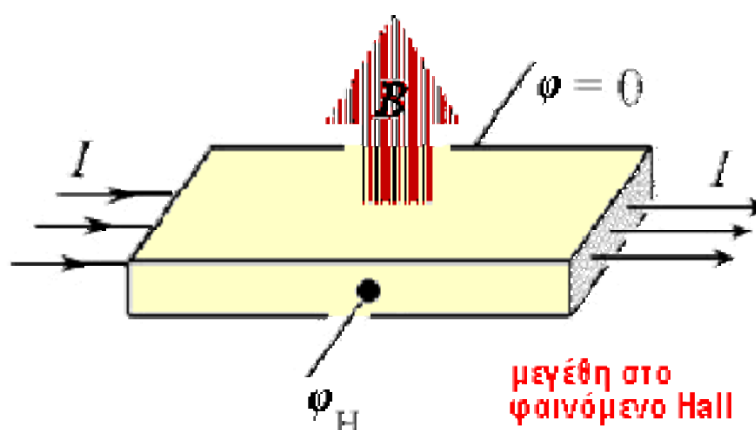
2.13 Το φωτόφωνο

Ο Alexander G. Bell κατασκεύασε το έτος 1880 μία συσκευή, με την οποία γινόταν οπτικά τηλεμεταφορά της φωνής. Η απόσταση που κατάφερε να καλύψει ήταν λίγο μεγαλύτερη από 200 μέτρα, αλλά ο ίδιος θεωρούσε αυτή την εφεύρεσή του που ονόμασε φωτόφωνο, πολύ σημαντικότερη κι από το τηλέφωνο. Συγκεκριμένα, στην κατάληξη ενός ηχητικού χωνιού είχε τοποθετηθεί ένας πολύ λεπτός καθρέφτης

(μεμβράνη), ο οποίος πραγματοποιούσε ταλαντώσεις με την πρόσπτωση πάνω του ηχητικών κυμάτων. Έτσι μία λεπτή ακτίνα ηλιακού φωτός, την οποία ανακλούσε σε απόσταση ο καθρέφτης, έκανε επίσης ανεπαίσθητες ταλαντώσεις, τις οποίες παραλάμβανε σε ικανή απόσταση ένα παραβολικό κάτοπτρο, σαν το σημερινό ραντάρ και την οδηγούσε στο κέντρο, όπου βρισκόταν ένα φωτοκύτταρο. Σ' αυτό γινόταν μετατροπή του παλλόμενου φωτός σε μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

Μία και μοναδική αξιοποίηση αυτής της συσκευής έγινε από στρατιωτικούς κατά το β' παγκόσμιο πόλεμο, αλλά δεν δόθηκε συνέχεια, λόγω πολλών τεχνικών προβλημάτων. Μερικές δεκαετίες αργότερα αξιοποιήθηκε για τη μετάδοση σημάτων η ακτίνα Laser, η οποία, ως ιδέα, δεν ήταν τη δεκαετία του 1960 πλέον πρωτότυπη.

2.14 Το φαινόμενο Hall



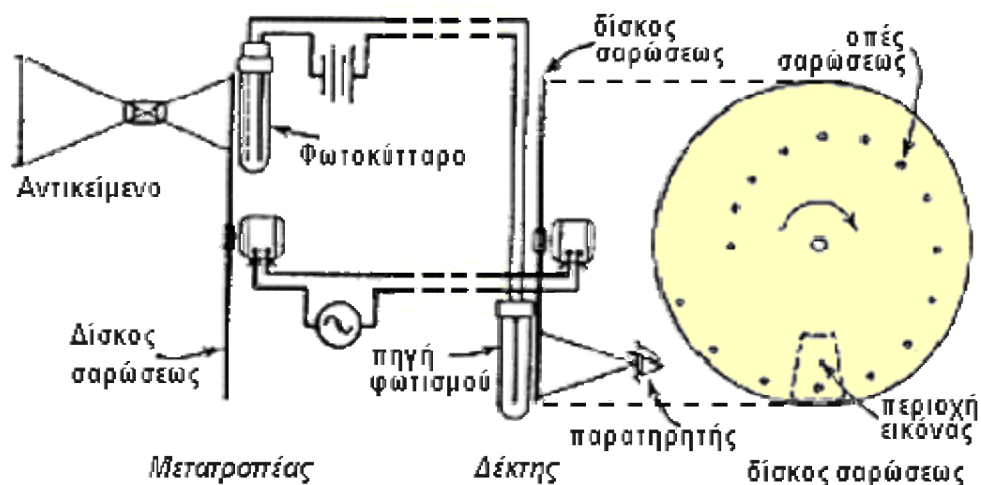
Εικόνα 20: Το φαινόμενο Hall – σχηματική απεικόνιση

Η ανακάλυψη αυτού του φαινομένου έγινε από τον Edwin Hall (Χωλ, 1855-1938) στο Πανεπιστήμιο της Βαλτιμόρης κατά την εξέταση πλακιδίων, στα οποία διήρχετο ρεύμα κάθετα σε μαγνητικό πεδίο. Στην τρίτη διάσταση μετρήθηκε από τον Hall μία διαφορά δυναμικού, η οποία ήταν ανάλογη της εντάσεως του διερχόμενου ρεύματος και της επαγωγής τους μαγνητικού πεδίου. Θεωρητική εξήγηση του φαινομένου είχε δώσει ήδη ο Hendrik Lorentz (Λόρεντς, 1853-1928), πριν ακόμα διατυπωθεί η ηλεκτρονική θεωρία του ατόμου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τάση Hall είναι πολύ μικρή και τότε δεν υπήρχε ο ενισχυτής για να αξιοποιήσει τεχνικά αυτό το φαινόμενο. Παρ' ότι λοιπόν δεν υπήρχε ακόμα κάποια εφαρμογή γι' αυτό το φαινόμενο, οι δύο ερευνητές, Λόρεντς και Χωλ πήραν το έτος 1902 το βραβείο Νόμπελ της Φυσικής.

2.15 Ιδέες για τηλεόραση

Το έτος 1883 προβληματιζόταν ο Γερμανός φοιτητής Paul Nipkow (Νίπκο, 1860-1940), πώς θα μπορούσε να μεταδώσει ηλεκτρικά μία εικόνα. Για το σκοπό αυτό αξιοποίησε ένα φωτοστοιχείο, για το οποίο ήταν γνωστό ότι μετατρέπει ακτινοβολία διαφορετικής εντάσεως σε μεταβαλλόμενη τάση. Η σκέψη να υποδιαιρέσει την επιφάνεια της εικόνας σε πολλές μικρές περιοχές και από κάθε μία να «καταγράψει» την ένταση ακτινοβολίας, όπως κάνει σήμερα στις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές ο αισθητήρας (CCD), ήταν απορριπτέα, γιατί δεν υπήρχε τότε η δυνατότητα ενσωματώσεως τόσο μεγάλου αριθμού φωτοστοιχείων σε μικρό χώρο (ολοκλήρωση).

Για να καταγράψει τα διαφορετικά σημεία μιας εικόνας με ένα μόνο φωτοστοιχείο, κατασκεύασε ο Νίπκο ένα δίσκο με οπές σε σπειροειδή διάταξη. Αυτή η διαδικασία ονομάστηκε ανάλυση εικόνας. Ένας ίδιος δίσκος περιστρεφόταν σε σύγχρονο ρυθμό στην πλευρά του δέκτη, με τον οποίο γινόταν η σύνθεση εικόνας. Συνολικά γινόταν λοιπόν η μεταφορά μιας εικόνας, σημείο προς σημείο με την παρεμβολή μηχανικών εξαρτημάτων. Ο Νίπκο ονόμασε τη συσκευή του ηλεκτρικό τηλεσκόπιο και έλαβε γι' αυτή βεβαίωση ευρεσιτεχνίας το έτος 1885. Η κατασκευή των πρώτων ενισχυτών, με τους οποίους θα ήταν δυνατή η ενίσχυση των ασθενών σημάτων της φωτοδιόδου, πραγματοποιήθηκε όμως αρκετά χρόνια αργότερα κι έτσι η μηχανική τηλεόραση έμεινε αναξιοποίητη.



Εικόνα 21: Το ηλεκτρικό τηλεσκόπιο του Νίπκο

2.16 Ηλεκτρική ενέργεια

Σήμερα γνωρίζουμε τη μεγάλη σημασία της ηλεκτρικής ενέργειας για την ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνίας σε όλες τις χώρες του κόσμου. Η ηλεκτρική ενέργεια χαρακτηρίζεται από οικονομικότητα, μεγάλη ασφάλεια, υψηλή ποιότητα και ήπια συμπεριφορά στο περιβάλλον κατά την κατανάλωσή της. Αυτές οι αντιλήψεις άρχισαν να διαμορφώνονται στα τέλη του 19ου αιώνα, όταν η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε να ξεπερνάει την ευρύτερη γειτονιά του εργοστασίου παραγωγής και να επεκτείνεται σε αστικά διαμερίσματα και ολόκληρες πόλεις, κάποια στιγμή δε και υπεραστικά.

Το 1881 άρχισε να λειτουργεί η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Godalming της Αγγλίας, μεταξύ Λονδίνου και Πόρτσμουθ, με ισχύ 746 kW. Η πόλη αυτή απέκτησε και τον πρώτο δημόσιο ηλεκτρικό φωτισμό, αρχικά με 3 λάμπες βολταϊκού τόξου και 7 λάμπες πυρακτώσεως και αργότερα με 4 και 27 λάμπες αντίστοιχα. Η γεννήτρια ήταν μονοφασική της εταιρίας Siemens που παρείχε 250V/12A με 1.200 στροφές ανά λεπτό. Η κίνηση της γεννήτριας προερχόταν από δύο υδρόμυλους και λειτουργούσε μόνο σε εποχή κανονικών βροχοπτώσεων, γιατί δεν ήταν δυνατόν να ελεγχθεί επαρκώς η ροή νερού στο ποτάμι που διέτρεχε την πόλη. Στη Γερμανία εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Στουγκάρδη το έτος 1882 και ήταν σε θέση να τροφοδοτήσει μέχρι 30 λάμπες πυρακτώσεως, μπορούμε να εκτιμήσουμε συνολικά περί το 1,5 kW. Το ίδιο έτος άρχισαν να φωτίζουν δρόμους του Βερολίνου ηλεκτρικές λάμπες χαμηλής ισχύος, οι οποίες τροφοδοτούνταν από γειτονικές μονάδες παραγωγής. Το έτος 1885 εγκαταστάθηκε στο Βερολίνο ο πρώτος μεγαλύτερος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είχε από την πόλη την άδεια να τροφοδοτεί καταναλωτές σε ακτίνα μέχρι 800 μέτρα. Σ' αυτή την περιοχή είχε η εταιρία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας το δικαίωμα να τοποθετεί αγωγούς για την παροχή ρεύματος.

Το έτος 1885 κατασκεύασε ο William Stanley (Στάνλυ, 1858-1916) υπάλληλος της εταιρίας Westinghouse, ένα επαγωγικό πηνίο ή όπως λέμε σήμερα, ένα μετασχηματιστή ισχύος, με τον οποίο μετέβαλε κατ' επιθυμία την εναλλασσόμενη τάση. Με την αξιοποίηση του μετασχηματιστή ήταν προφανές ότι θα επικρατούσε οριστικά το εναλλασσόμενο ρεύμα (ΕΡ) έναντι του συνεχούς (ΣΡ). Η οριστική αποδοχή του ΕΡ απαίτησε όμως κάποια χρόνια, λόγω της σφοδρής αντιδικίας και του ανταγωνισμού μεταξύ δύο σημαντικών παραγόντων της οικονομικής και τεχνολογικής ζωής στις ΗΠΑ, του Thomas Alva Edison και του βιομήχανου George Westinghouse

(Γουέστινγκχάους, 1846-1914) από το Pittsburgh. Το έτος 1886 εγκαθιστά ο George Westinghouse (Γουέστινγκχάους, 1846-1914), ο οποίος ήδη το 1865 είχε κατασκευάσει μία περιστρεφόμενη ατμογεννήτρια και το 1881 τελειοποίησε ένα ηλεκτρικό σύστημα ασφάλειας των τραίνων, μία μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας με ΕΡ στο Barrington της Μασαχουσέτης. Η αντιδικία με τον Edison είχε ελάχιστα επιστημονικά και τεχνικά, αλλά πάρα πολλά λαϊκίστικα στοιχεία και έφτασε στις 30 Ιουλίου 1888 σε προσωρινό αποκορύφωμα, όταν σε ένα εργαστήριο του New York Columbia College μερικοί άντρες κρατάγανε με τη βία έναν εύσωμο σκύλο, στον οποίο τα πόδια έχουν τοποθετηθεί ηλεκτρόδια. Στόχος ήταν να δείξουν οι μηχανικοί του Edison ότι το ΕΡ που προτείνει ο Westinghouse, είναι πιο επικίνδυνο από το δικό του ΣΡ.



Εικόνα 22: William Stanley

Το μακάβριο πείραμα έχει πρώτο θύμα του τον άτυχο σκύλο, ο οποίος σφαδάζει από το διερχόμενο ΕΡ του Westinghouse, ενώ οι μηχανικοί αφήνουν να εννοηθεί ότι με το ΣΡ του Edison, θα επιζούσε ο σκύλος. Υπάλληλοι του Edison επαναλαμβάνουν το πείραμα με διάφορες αφορμές και σε διάφορα μέρη για να τρομοκρατήσουν τους πολίτες, πόσο επικίνδυνος θα είναι ο ηλεκτρισμός, αν λειτουργήσει με το σύστημα του αντιπάλου. Για τον κόσμο, ακόμα και για πολλούς τεχνικούς, ο ηλεκτρισμός παρέμενε ακόμα ένα μυστήριο, ένα περίεργο «ρευστό» που διαπερνάει τα καλώδια και μεταφέρει ενέργεια, ανάβει λυχνίες, θέτει σε λειτουργία κινητήρες, προκαλεί ηλεκτροπληξία κ.ο.κ. Κανείς δεν πολυκαταλαβαίνει, αν και οι θεωρητικές γνώσεις είναι ήδη διαθέσιμες, γιατί ο σκύλος ξεψύχησε,

όταν οι τεχνικοί ανέβασαν την τάση στα 330V με «ρεύμα του Westinghouse». Οι τεχνικοί ισχυρίζονται ότι με το «ρεύμα του Edison» κάτι τέτοιο θα ήταν αδύνατον, γιατί δεν υπάρχει κάποιο σύστημα να ανεβάζει ή να κατεβάζει τη συνεχόμενη τάση. Ενώ το για «απορριπτέο» ρεύμα του Westinghouse υπάρχει ο μετασχηματιστής του Στάνλυ που αξιοποιείται στο EP και είναι υπεύθυνος για τις υψηλές τάσεις και... τις ηλεκτροπληξίες.

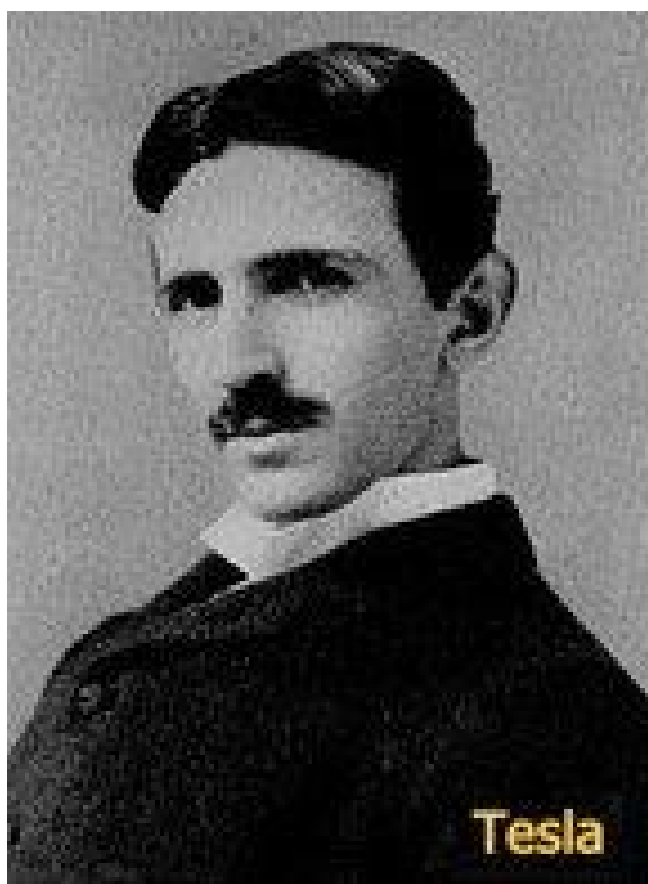
Λίγα χρόνια μετά συνέδεσε ο Edison στον περιστρεφόμενο άξονα μιας ατμομηχανής ένα «δυναμό» και είχε έτοιμη την πρώτη στον κόσμο μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με ΣΡ. Η «Edison Electric Light Company», όπως ονομαζόταν η εταιρία του Edison πριν μετονομαστεί σε «General Electric», άρχισε να συνδέει στη γεννήτριά του όλο και περισσότερους καταναλωτές, βιοτεχνίες και νοικοκυριά. Ο Δήμος της Νέας Υόρκης αντικατέστησε τους φανοστάτες αερίου με ηλεκτρικούς λαμπτήρες. Σ' αυτό το τοπίο εξελισσόταν παράλληλα ένας ανελέητος επιχειρηματικός αγώνας με κάθε θεμιτό και αθέμιτο μέσο: η μηχανή που έκανε πλεονεκτικό το EP, ο μετασχηματιστής, παρουσιαζόταν σαν «σατανάς» που θα σκότωνε τους καταναλωτές. Μια μικρή αύξηση της τάσης (από απροσεξία, δήθεν) και ο καταναλωτής θα υπέκυπτε από ηλεκτροπληξία.

Ο Westinghouse ήταν πιο συγκρατημένος σ' αυτή την αντιδικία, ίσως από τη φύση του, ίσως από τη βεβαιότητα ότι τελικά θα επικρατούσε η δική του ιδέα: με το EP ήταν (και παραμένει) εύκολη η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις για δεδομένες διατομές των αγωγών της γραμμής μεταφοράς. Έτσι μπορεί η ηλεκτρική εταιρία να παράγει την ηλεκτρική ενέργεια έξω και μακριά από την πόλη και να μεταφέρει το ρεύμα με «κομψούς» αγωγούς υψηλής τάσης στους καταναλωτές. Μια γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ήταν τότε δείγμα μεγάλης τεχνολογικής και οικονομικής προόδου.

Με το ΣΡ του Edison δεν είναι δυνατόν να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, γιατί η τάση δεν είναι δυνατόν να μεταβληθεί με απλά μέσα (τότε δεν ήταν καθόλου δυνατόν), οπότε με την απόσταση μεγάλωνε δυσανάλογα η διατομή (και το κόστος) των αγωγών. Γι' αυτό έπρεπε ο Edison να κατασκευάζει πολλές μικρές μονάδες σε κάθε συνοικία της πόλης, ώστε να διατηρούνται οι αποστάσεις από τους καταναλωτές σε λογικά επίπεδα. Για κάθε μεγαλύτερη εφαρμογή, ηλεκτροκίνητα μέσα συγκοινωνίας, βιομηχανικές μονάδες κ.ά., ήθελε ο Edison να κατασκευάζει επί τούτου μια μονάδα παραγωγής ηλ. ενέργειας. Και προς έκπληξή του έβλεπε ότι ο αντίπαλος προωθούσε χωρίς πολλά έξοδα και φασαρίες τη δική του μορφή ηλ. ενέργειας, πείθοντας τους ενδιαφερόμενους

ότι θα τους φέρει το ρεύμα από ένα μακρινό σημείο, έξω από την πόλη.

Ο μηχανικός και βιομήχανος George Westinghouse αποφάσισε έτος 1885 να ασχοληθεί με τις ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές και να «εισέλθει στα χωράφια» του Edison. Αγόρασε λοιπόν τις ευρεσιτεχνίες για μια γεννήτρια ΣΡ και για τη λυχνία πυρακτώσεως από τον ανταγωνιστή του και άρχισε να πουλάει ηλεκτρική ενέργεια. Η συνάντηση του Westinghouse με τον Nicola Tesla (Τέσλα, 1856-1943), ένα ιδιοφυή μετανάστη από τη Σερβία, παλιό συνεργάτη του Edison, άνοιξε το δρόμο για νέες κατακτήσεις στον τομέα των ηλεκτροτεχνικών εφαρμογών.



Εικόνα 23: Nicola Tesla

Ο Tesla είχε κατασκευάσει μία «μηχανή επαγωγής», μια επαναστατική επινοήση, η οποία έπαιξε αποφασιστικό ρόλο σε όλες τις μετέπειτα εφαρμογές. Αυτή η μηχανή, γεννήτρια ή κινητήρας, στηρίζεται στο νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, άρα λειτουργεί με ΕΡ, είναι σχετικά απλής κατασκευής και δεν χρειάζεται συχνή συντήρηση. Ο Westinghouse εξαγόρασε αυτή την εφεύρεση του Τέσλα και στήριξε επάνω της τη διάδοση του «δικού του» ΕΡ. Το ρεύμα της εταιρίας «Westinghouse Electric and Manufacturing Company» μεταφερόταν με μικρές απώλειες σε

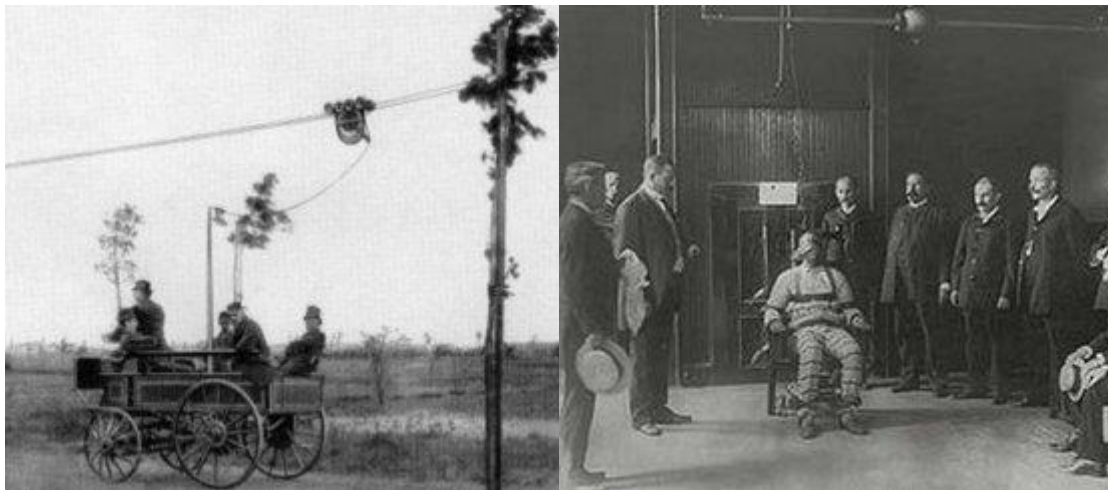
αποστάσεις δεκάδων και εκατοντάδων χιλιομέτρων, άρα αρκούσε μια μεγάλη μονάδα παραγωγής.



Εικόνα 24: George Westinghouse

Ο Edison έπρεπε, αντίθετα, να χρηματοδοτεί πολλές μικρές μονάδες παραγωγής μέσα σε κατοικημένες περιοχές, οπότε ήταν τεχνολογικά και οικονομικά σε δυσμενή θέση. Γι' αυτό έριξε όλο το βάρος προβολής του προϊόντος του στη δυσφήμιση του αντιπάλου. Από το έτος 1887 συγγράφουν συνεργάτες και μοιράζουν φυλλάδια με φρικιαστικές περιγραφές, τι μπορεί να πάθει ο καταναλωτής, άμα χρησιμοποιεί το «επικίνδυνο ρεύμα» του Westinghouse. Λίγο μετά αρχίζει ο Edison τα δημόσια πειράματα ηλεκτροπληξίας με σκύλους, γάτες, μοσχάρια και άλλα ζώακια. Η τελική επίδειξη του έγινε με τη θανάτωση ενός αλόγου. Σε όλες αυτές τις (εγκληματικές) επιδείξεις χρησιμοποιούτο το ΕΡ του Westinghouse, ποτέ το δικό του ΣΡ, το οποίο θα ήταν εξ ίσου θανατηφόρο. Στη συνέχεια διασπείρει ο Edison αληθείς ή ψευδείς ιστορίες για ατυχήματα που είχαν καταναλωτές με ΕΡ, κάποια στιγμή προσπάθησε, μάλιστα, ανεπιτυχώς, να πείσει αρμόδιους πολιτικούς να απαγορέψουν τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας με τάση άνω των 300 V. Αυτό θα ήταν καταδικαστικό για τον Westinghouse, ο οποίος χρησιμοποιούσε για τη μεταφορά ενέργειας «υψηλές» τάσεις (σήμερα «μεσαίες»). Ο Westinghouse παραμένει ψύχραιμος, διαβλέπει το αδιέξοδο και τον πανικό του Edison και τροφοδοτεί επίσης τις εφημερίδες με δικές του πληροφορίες. Στις εφημερίδες των μεγάλων πόλεων εκείνης της εποχής περιέχονται πάμπολλά άρθρα με αληθινές ή φανταστικές ιστορίες περί ηλεκτρισμού που προωθούν οι πλευρές των δύο

ανταγωνιστών. Το καλοκαίρι του 1888 προσκαλεί ο Westinghouse τον Edison στο σπίτι του στο Pittsburgh για μια συζήτηση, ίσως και συνεργασία - μια σαφέστατη πρόταση ειρήνης. Ο Edison αρνείται την πρόσκληση, γιατί είναι «πολύ απασχολημένος» (too busy). Ο πανούργος Edison ακολουθούσε ένα νέο σχέδιο δυσφήμισης του Westinghouse και δεν του χρειαζόταν ειρήνη για να κερδίσει: το έτος 1889 άρχισε να ισχύει στη Νέα Υόρκη ένας νέος νόμος για τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος στην εκτέλεση θανατοποινιτών. Ο Edison άρχισε να ρητορεύει υπέρ του ΕΡ, με αυτό το ρεύμα έπρεπε να εκτελούνται οι θανατοποινίτες, γιατί αυτό σκοτώνει σίγουρα. Ήθελε με κάθε τρόπο να ταυτίσουν οι άνθρωποι, πολίτες και πολιτικοί, το ΕΡ του Westinghouse με τον θάνατο. Γράφει μια μελέτη για την κατασκευή της πρώτης «ηλεκτρικής καρέκλας», την οποία δηλώνει ως ευρεσιτεχνία και η οποία λειτουργεί, φυσικά, με ΕΡ. Μάλιστα, εισηγείται στις αρμόδιες υπηρεσίες να καθιερωθεί ένας νέος όρος στην αγγλική καθομιλουμένη: το ρήμα «εκτελώ» (to execute) να λέγεται «to westinghouse», όταν πρόκειται για εκτέλεση στην ηλεκτρική καρέκλα! Οι έντονες διαμαρτυρίες του Westinghouse για τις συκοφαντικές παρεμβάσεις του Edison δεν φαίνεται να επηρέασαν κανέναν. Τον Αύγουστο του 1890 εκτελείται ο πρώτος θανατοποινίτης στην «ηλεκτρική καρέκλα» με ΕΡ. Όμως, κατά σύμπτωση και προς μεγάλη δυσφορία του Edison, ο προς εκτέλεση δεν πέθανε αμέσως, όταν επεβλήθη στο σώμα του τάση 1000 V. Ο χειριστής (State Electrician) έπρεπε να ανεβάσει την τάση στα 2000 V για να ολοκληρωθεί η εκτέλεση.



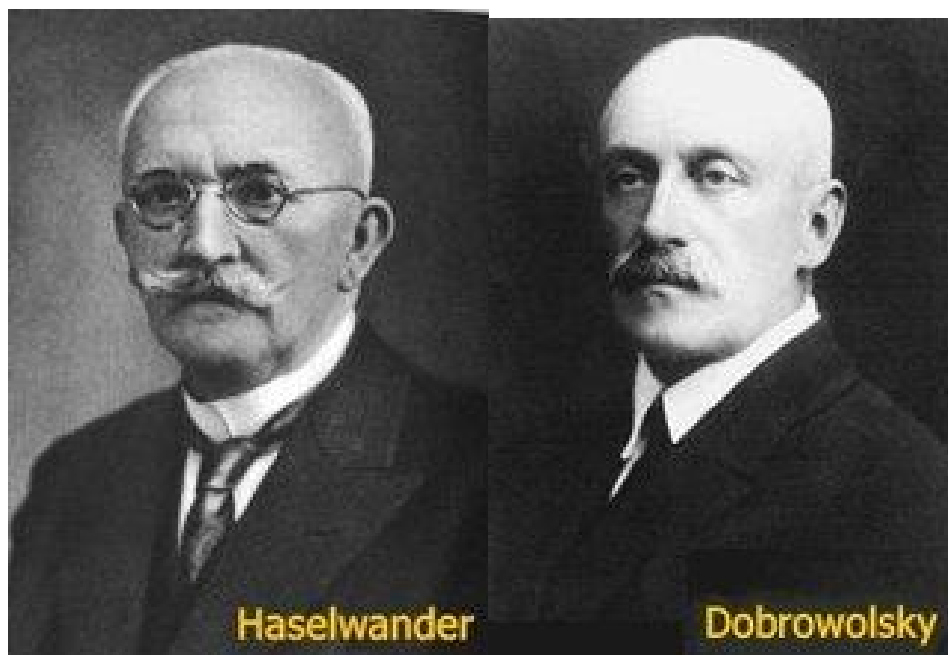
Εικόνα 25:Αριστερά:Πρωτότυπο ηλεκτροκίνητου οχήματος που τροφοδοτείται με εναέρια γραμμή, Γερμανία 1882. Δεξιά: Από τις πρώτες εκτελέσεις θανατοποινιτών στην ηλεκτρική καρέκλα, ΗΠΑ.

Παρ' όλες τις αντιδράσεις και τις δυσφημήσεις, η τεχνολογική και οικονομική πραγματικότητα υπερνικά: μέσα σε δύο χρόνια

ολοκληρώνει ο Westinghouse περισσότερα από 30 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοτεί το έτος 1890 ήδη 130 αμερικάνικες πόλεις, με ΕΡ. Το έτος 1893 υποβάλλει ο Westinghouse μια προσφορά για την ηλεκτροδότηση της παγκόσμιας έκθεσης στο Σικάγο κατά περίπου 1 εκατομμύριο δολάρια χαμηλότερη από εκείνη του Edison. Στην έκθεση προμήθευσε η εταιρία «Westinghouse» ηλεκτρική ενέργεια από δικές της μονάδες για 180.000 λαμπτήρες. Η επόμενη μεγάλη σύγκρουση μεταξύ των δύο πρωτοπόρων βιομηχάνων του ηλεκτρισμού σχετίζεται με ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιεί την υδατόπτωση των καταρρακτών του Νιαγάρα. Και σ' αυτή την περίπτωση κέρδισε το έργο η πλευρά του Westinghouse και από το έτος 1896 παρήγαγαν οι γεννήτριές του ηλεκτρική ενέργεια για την πόλη Buffalo σε απόσταση 40 km. Από τότε όλες σχεδόν οι πόλεις στις ανεπτυγμένες χώρες εγκαθιστούν δίκτυο ΕΡ. Η νίκη του ΕΡ δεν γλίτωσε όμως τον Westinghouse από την οικονομική παρακμή. Όταν το έτος 1907 προέκυψε μια κρίση στο χρηματιστήριο της Νέας Υόρκης, έχασαν οι μέτοχοι της εταιρίας την εμπιστοσύνη τους στον βιομήχανο και τον απομάκρυναν από τη διοίκηση ενός βιομηχανικού συγκροτήματος με περίπου 50.000 εργαζόμενους, το οποίο είχε ιδρύσει και αναπτύξει ο ίδιος. Το 1911 αποσύρθηκε ο Westinghouse από κάθε δραστηριότητα, επειδή κατηλώθηκε σε αναπηρικό καρότσι, λόγω καρδιακής ανεπάρκειας. Πέθανε το έτος 1914 στη νέα Υόρκη σε ηλικία 67 ετών. Ο Edison, ο χαμένος στην αντιδικία για τη μορφή του ηλεκτρικού ρεύματος, προσπάθησε να διαδώσει το ΣΡ μερικές δεκαετίες ακόμα, αλλά το έτος 1928 εγκατέλειψε οριστικά κάθε σχετική προσπάθεια. Πέθανε το έτος 1931 σε ηλικία 84 ετών, αναγνωρισμένος ως ο σημαντικότερος εφευρέτης στον τομέα των ηλεκτρικών εφαρμογών. Την ίδια εποχή που εξελισσόταν στις ΗΠΑ η σύγκρουση Westinghouse-Edison, πραγματοποιούσε ο Ιταλός Galileo Ferraris (Φεράρις, 1847-1897) πειράματα με ανεξάρτητα ΕΡ. Στην πορεία αυτών των πειραμάτων ανακάλυψε ότι δύο εναλλασσόμενα ρεύματα ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικής αρχικής φάσης δημιουργούσαν στο χώρο ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Παράλληλα με τον Ferraris πραγματοποιούσε όμοια πειράματα, αλλά με 3 ΕΡ και ο τότε βοηθός του Edison, Nicola Tesla. Το έτος 1886 κατασκευάστηκε στη Γερμανία μια τριφασική γραμμή που τροφοδοτείτο από 3 μονοφασικούς κινητήρες και ένα χρόνο μετά κατασκεύασε ο Friedrich August Haselwander (Χάτζελβάντερ, 1851-1929) την πρώτη τριφασική γεννήτρια (σύγχρονη μηχανή). Αξιοποιώντας τα πειράματα διαφόρων ερευνητών, κατασκεύασε ο Ρωσσο-Γερμανός Michael Dolivo-Dobrowolsky (Ντομπροβόλσκυ, 1862-1919) το έτος 1889 τον πρώτο επαγωγικό τριφασικό κινητήρα με ικανοποιητική συμπεριφορά. Ο κινητήρας αυτός λειτουργούσε με βραχυκυκλωμένο κλωβό του δρομέα και κατασκευάστηκε στα εργαστήρια της εταιρίας AEG στο Βερολίνο. Μέχρι σήμερα δεν

άλλαξε ουσιαστικά η βασική κατασκευαστική αρχή αυτών των κινητήρων, οι οποίοι είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι σε όλες τις εφαρμογές.

Στα επόμενα χρόνια εξελίχθηκε το γερμανικό τριφασικό σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε τέτοιο βαθμό, ώστε το έτος 1891 τροφοδοτήθηκε η Φραγκφούρτη, σε απόσταση 175 km από το εργοστάσιο παραγωγής, με βαθμός αποδόσεως 70%. Το έτος 1893 τροφοδοτούσε η εταιρία Westinghouse περί τις 250.000 λαμπτήρες στην παγκόσμια έκθεση εμπορίου του Σικάγου. Ο Χάζελβάντερ που προαναφέρθηκε είχε δηλώσει την κατασκευή του για απονομή διπλώματος ευρεσιτεχνίας, αλλά κάποιες διαπλοκές των αρμόδιων υπαλλήλων με εταιρίες οδήγησαν στην εξαπάτησή του. Το έτος 1932, μετά το θάνατο του εφευρέτη, αναγνώρισαν οι εταιρίες Siemens και AEG ότι η ευρεσιτεχνία των μηχανών που κατασκεύαζαν προερχόταν από την αίτηση και τα τεχνικά σχέδια του Χάζελβάντερ.



Εικόνα 26: Friedrich August Haselwander και Michael Dolivo-Dobrowolsky

Είναι προφανές ότι τις δεκαετίες 1880 και 1890 υπήρχε στον ηλεκτρολογικό τομέα τέτοια ραγδαία εξέλιξη, ώστε πολλές εφευρέσεις και κατασκευές γίνονταν όμοιες ή ίδιες από διαφόρους κατασκευαστές, άγνωστους και άσχετους μεταξύ τους, αλλά γνωρίζοντας όλοι τα τεχνικά προβλήματα που προέκυπταν κατά τη βελτίωση των διαδικασιών της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που ήταν ουσιαστικά παντού ίδια. Η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε την παραγωγή σε αδιέξοδο, γιατί η μοναδική κινητήρια μηχανή, η ατμομηχανή, δεν ήταν σε θέση να

καλύψει τις τεχνικές απαιτήσεις. Η αναζήτηση για μια νέα κινητήρια μηχανή οδήγησε αρχικά τον Εγγλέζο C.A. Parsons (1854-1931) και αργότερα τον Σουηδό C.G.P. Laval (1845-1915) στην κατασκευή ατμοστροβίλων. Η αρχή λειτουργίας του ατμοστρόβιλου ήταν βέβαια γνωστή ήδη από την εποχή του Ήρωνα και αργότερα από τον 17ο αιώνα. Οι πρώτες μονάδες σταθερής απόδοσης κατασκευάστηκαν όμως το 1884 από τον Parsons και το 1899 από τον Laval, του οποίου ο ατμοστρόβιλος ήταν μια παραλλαγή εκείνου του Parsons. Το έτος 1893 εισήγαγε ο Γερμανο-Αμερικάνος μηχανικός Charles Steinmetz (Στάινμετς, 1865-1923) τη μαθηματική περιγραφή των εναλλασσόμενων μεγεθών του ηλεκτρικού κυκλώματος, χρησιμοποιώντας το μιγαδικό συμβολισμό (παραστατικοί μιγαδικοί αριθμοί) για να απλοποιήσει τις πολύπλοκες τριγωνομετρικές εξισώσεις. Η μελέτη ηλεκτρικών δικτυωμάτων και συστημάτων έγινε πλέον αντικείμενο των ηλεκτρολόγων μηχανικών της εποχής και αυτό έδωσε νέα ώθηση, τόσο στην εκπαίδευση, όσο και στην έρευνα από πανεπιστήμια και εταιρίες.

Το έτος 1903 κατασκευάστηκε ο πρώτος υδροηλεκτρικός σταθμός στην πόλη Nexaca του Μεξικού, με ισχύ 6,25 MVA, ο οποίος λειτουργεί ακόμα 100 χρόνια μετά. Το 1905 άρχισε η λειτουργία της γραμμής υψηλής τάσης 50kV στην περιοχή του Μονάχου και το 1909 της γραμμής 100kV με μήκος 290 km στο Sohshona-Boulder των ΗΠΑ.

Με την εξάπλωση των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας επήλθε η δεύτερη μεγάλη αλλαγή, μετά το σιδηρόδρομο, στο τοπίο των βιομηχανικά αναπτυγμένων χωρών, τόσο λόγω των εναέριων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και λόγω των υπαίθριων μετασχηματιστών και κέντρων μετασχηματισμού της υψηλής τάσης.

Το έτος 1889 έφτασε ο «ηλεκτρισμός» στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία της ΔΕΗ, η «Γενική Εταιρεία Εργοληψιών» κατασκεύασε στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο σημερινό ιστορικό κέντρο της πόλης. Τον ίδιο χρόνο ηλεκτροδοτείται επίσης η Θεσσαλονίκη, η οποία ανήκει ακόμα στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Η «Βελγική Εταιρία» αναλαμβάνει απ' τις τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροχιοδρόμηση της πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δέκα χρόνια αργότερα κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα οι πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού. Η αμερικανική εταιρία Thomson-Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας ιδρύουν την «Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία» που αναλαμβάνει την

ηλεκτροδότηση μεγάλων ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα έχουν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους.

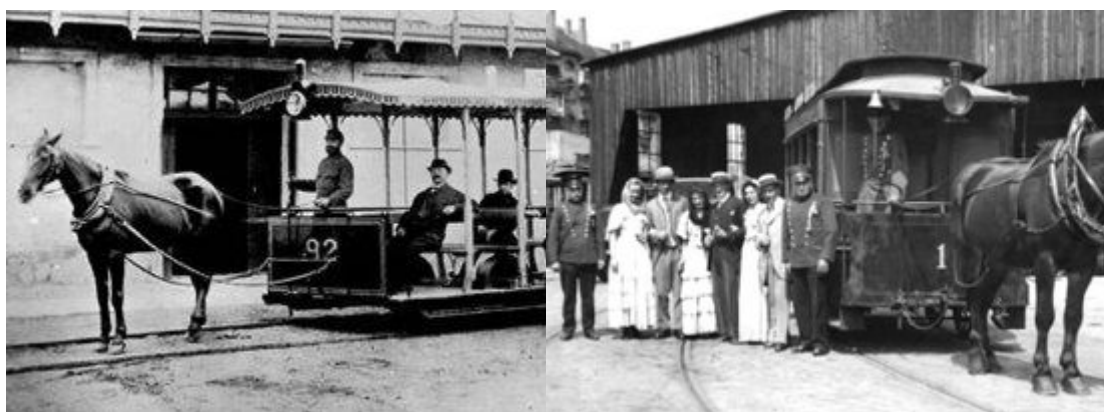
Στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αναλαμβάνουν την ηλεκτροδότηση ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το έτος 1950 υπήρχαν στη Ελλάδα περίπου 400 εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως πρωτογενή ενέργεια χρησιμοποιούσαν το πετρέλαιο και το γαιάνθρακα, αμφότερα φυσικά εισαγόμενα από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση αυτή της παραγωγής σε πολλές μονάδες, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στα ύψη, φτάνοντας στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν σε ευρωπαϊκές χώρες. Η ηλεκτρική ενέργεια ήταν λοιπόν ένα αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρέχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο. Μετά το έτος 1950 ιδρύθηκε η ΔΕΗ και οι δραστηριότητες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας συγκεντρώθηκαν σε ένα δημόσιο φορέα, με όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχει μια τέτοια επιλογή.

2.17 Το ηλεκτροκίνητο τραμ

Κατά το πρώτο μισό του 19ου αιώνα αποτελούσε το «αλογοτράμ», δηλαδή ένα όχημα που κινείτο σε τροχιές και συρόταν από άλογο, το σημαντικότερο δημόσιο μέσο μεταφοράς στις μεγάλες ευρωπαϊκές και αμερικάνικες πόλεις. Η χωρητικότητα αυτών των οχημάτων ήταν όμως περιορισμένη και το κόστος του εισιτηρίου υψηλό, οπότε οι περισσότεροι κάτοικοι των πόλεων μετακινούνταν με ποδαρόδρομο. Η συνεχής διεύρυνση των πόλεων απαιτούσε διαρκώς την εγκατάσταση νέων τροχιογραμμών και την αύξηση των διαθέσιμων ζώων.

Περίπου το μισό κόστος λειτουργίας του αλογοτραμ ήταν η διατροφή και περιποίηση του αλόγου. Κάθε άλογο δεν μπορούσε όμως να αξιοποιηθεί σ' αυτή την εργασία για πάνω από 5 χρόνια και οι ασθένειες στα καταπονημένα ζώα δεν ήταν σπάνιες. Όταν το 1872 παρουσιάστηκε στις ΗΠΑ μια επιδημία, πολλά άλογα ψόφησαν και πολλές πόλεις διέκοψαν τις δημόσιες συγκοινωνίες. Επίσης, τα άλογα τραυματίζονταν συχνά σε ανηφορικούς δρόμους και μια ανατροπή οδηγούσε σε πολύωρη διακοπή της κυκλοφορίας, πέρα από τον συχνά βαρύ τραυματισμό του αλόγου. Πέρα απ' αυτά, οι καβαλίνες των αλόγων στους δρόμους αποτελούσαν σημαντικό πρόβλημα υγιεινής και απαιτούσε οργάνωση υπηρεσίας περισυλλογής και απομάκρυνσης.



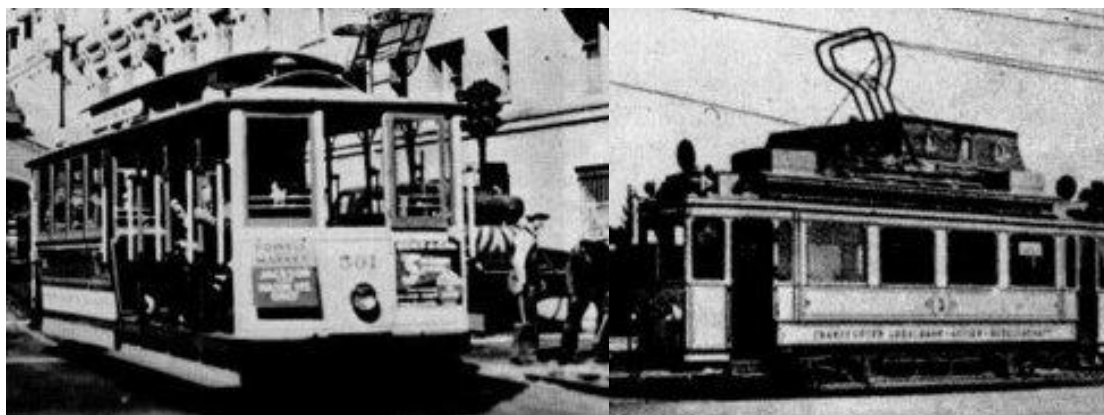
Εικόνα 27: Αλογοτράμ σε ευρωπαϊκές πόλεις.

Αυτά τα προβλήματα πίεζαν για αναζήτηση άλλων λύσεων στο πρόβλημα των δημόσιων μεταφορικών μέσων. Η κυκλοφορία βαγονιών με ατμοκίνηση δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, όπως περιγράφηκε στο σχετικό άρθρο. Σε ορισμένες πόλεις των ΗΠΑ εγκαταστάθηκαν επίγεια ή υπόγεια τραίνα που έλκονταν από σταθερά τοποθετημένες ατμομηχανές με συρματόσκοινα, περίπου όπως τα εναέρια τραινάκια (τελεφερίκ) χωρίς όμως την εναέρια στήριξη. Το 1873 εγκαινιάστηκε η πρώτη γραμμή στο Σαν Φρανσίσκο, με τους πολλούς λόφους, στο οποίο τελικά το δίκτυο έφτασε τα 85km. Ακολούθησε μια όμοια εγκατάσταση στο επίπεδο Σικάγο με συνολικά 65 km και πάνω από 700 βαγόνια. Αυτά τα δίκτυα μαζικών μεταφορών παρέμειναν σε λειτουργία μέχρι τη δεκαετία του 1880, όταν ήρθε η στιγμή αξιοποίησης των ηλεκτρικών κινητήρων.

Το έτος 1879 εγκατέστησε η εταιρία «Siemens & Halske» ένα ηλεκτροκινούμενο τραίνο σε ορυχείο, το οποίο βελτιωμένο παρουσιαζόταν σε διάφορες τεχνολογικές εκθέσεις για ενημέρωση και διασκέδαση των επισκεπτών, περίπου όπως τα σημερινά παιδικά τραινάκια στα λούνα-παρκ. Το έτος 1881 δημιουργήθηκε η πρώτη γραμμή ηλεκτροκίνητου τραμ σε ένα προάστειο του Βερολίνου, της οποίας τα βαγόνια υπερείχαν κατά πολύ των αντίστοιχων του αλογοτράμ. Παρ' όλα αυτά, η επέκταση του ηλεκτροκίνητου τραμ συνάντησε δυσκολίες, λόγω του προβλήματος της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η παροχή μέσω ενός επίγειου καλωδίου που στηριζόταν σε μονωτήρες, δίπλα σε μια σιδηροτροχιά (περίπου όπως τροφοδοτείται σήμερα ο ηλεκτρικός σιδηρόδρομος της Αθήνας), απαιτούσε αποκλεισμό των γραμμών από την πρόσβαση των διερχομένων πεζών και διαχωρισμό κάθε γειτονιάς. Η παροχή μέσω εναέριου καλωδίου που στηριζόταν σε κολώνες (περίπου όπως τροφοδοτείται σήμερα το αθηναϊκό τραμ) προκαλούσε σημαντικό κόστος εγκατάστασης και επιβάρυνση του περιβάλλοντος, γιατί ο κόσμος θεωρούσε ήδη επιβαρυνμένο το αστικό περιβάλλον από τις

κολώνες για το δημόσιο φωτισμό. Λύσεις με υπόγεια ηλεκτρική τροφοδοσία δεν ευδοκίμησαν για διάφορους λόγους τεχνικών προδιαγραφών και ασφάλειας. Ο τεχνικός κόσμος θεωρούσε εκείνα τα χρόνια αυτονόητο ότι σύντομα θα βελτιώνονταν οι δυνατότητες αποθήκευσης του ηλεκτρισμού και τα ηλεκτροκίνητα τραμ θα ήταν εφοδιασμένα με μπαταρίες κατάλληλης χωρητικότητας. Σήμερα γνωρίζουμε ότι αυτό το πρόβλημα δεν έχει λυθεί μέχρι τις αρχές του 21ου αιώνα και μάλλον δεν θα λυθεί σύντομα.

Το πρώτο μεγάλο δίκτυο ηλεκτροκίνητων τραμ εγκαταστάθηκε τελικά στο Richmond/Virginia των ΗΠΑ από τον Frank J. Sprague (Σπραγκ, 1857-1934) με αρχικό μήκος γραμμής περί τα 20km. Η επιτυχημένη εγκατάσταση του Σπραγκ οδήγησε στην εκτεταμένη αξιοποίηση αυτών των οχημάτων και μέχρι το έτος 1905 είχαν εγκατασταθεί στη Γερμανία περί τα 3.700 km, στη Μεγάλη Βρετανία περί τα 3.200km γραμμής ηλεκτροκίνητων τραμ.



Εικόνα 28: Ηλεκτρικό τραμ στις αρχές του 20ου αιώνα.

Τα ηλεκτροκίνητα τραμ διέθεταν κινητήρες ΣΡ με υψηλή ροπή εκκινήσεως και λειτουργούσαν με τάση 600V. Η ιδέα να αξιοποιηθούν αυτές οι τεχνικές και στα υπεραστικά τραίνα δεν ήταν μακριά. Πρόβλημα αποτελούσε όμως η απόσταση, δεδομένου ότι δεν ήταν δυνατόν να τροφοδοτηθούν καταναλωτές σε σημαντικές αποστάσεις με τάση 600V. Μία λύση που επιχειρήθηκε λοιπόν ήταν η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με τριφασική μορφή και η μετατροπή της σε υποσταθμούς σε συνεχή τάση 600V. Η εταιρία Westinghouse ανέπτυξε το έτος 1904 ένα μονοφασικό δίκτυο ΕΡ, με χρήση κατάλληλων κινητήρων στα οχήματα έλξης, οι οποίοι είχαν όμως μικρή ροπή εκκινήσεως σε σύγκριση με τους αντίστοιχους ΣΡ. Αυτό το σύστημα εξελίχθηκε και αναπτύχθηκε σταδιακά, κυρίως όμως μετά το β' παγκόσμιο πόλεμο και καλύπτει σήμερα τις

περισσότερες χώρες του κόσμου που διαθέτουν ηλεκτροκίνητα υπεραστικά τραίνα.

2.18 Ανατροπές και Εξειδικεύσεις

Οι αλλεπάλληλες εφευρέσεις στον ηλεκτρολογικό και μηχανολογικό τομέα, μαζί με αυτές που προέκυψαν στις αρχές του 20ου αιώνα, προκάλεσαν συνεχείς ανατροπές σε πολλούς τομείς του βιομηχανικού και του οικονομικού τομέα, αλλά και στις κοινωνικές συνήθειες και προοπτικές. Με την καθιέρωση ισχυρών ηλεκτρικών κινητήρων έγινε δυνατή και η κατασκευή υψηλών κτηρίων, των ουρανοξυστών, γιατί διαφορετικά δεν ήταν δυνατόν να ανεβοκατεβαίνουν οι άνθρωποι τις σκάλες σε κτήρια μεγαλύτερα των 4-5 ορόφων. Οι τιμές των οικοπέδων στο κέντρο των μεγάλων πόλεων της Αμερικής και της Ευρώπης ήταν ιδιαίτερα υψηλές, οπότε συνέφερε η προέκταση των κτηρίων σε ύψος. Με αυτή την επιλογή προκύπτει ένα πλήθος αλλαγών τόσο στην απασχόληση εργατικού δυναμικού, όσο και στην παραγωγή οικοδομικών υλικών κ.ά., η οποία παραγωγή δημιουργεί κι άλλες θέσεις εργασίας κ.ο.κ.

Η χρήση του ηλεκτρισμού σε όλο και περισσότερες εργασίες και ανάγκες της καθημερινής ζωής, ακόμα και μέσα στο σπίτι, έδινε τη δυνατότητα αποδέσμευσης από τις βαριές εργασίες, δημιουργούσε ελεύθερο χρόνο και ευκαιρίες για συναναστροφές με καλό φωτισμό και γρήγορη μεταφορά στην πόλη. Κατά μήκος των γραμμών κίνησης του τραμ δημιουργήθηκαν νέα προάστια, αφού οι εργαζόμενοι δεν ήταν απαραίτητο να κατοικούν πλέον σε υποφερτή απόσταση από την περιοχή εργασίας τους. Επίσης, οι τιμές των οικοπέδων αυξήθηκαν, λόγω του διαθέσιμου μοντέρνου μεταφορικού μέσου και οι ιδιοκτήτες των εκτάσεων στα νέα προάστια, κυρίως αγρότες, απέκτησαν κεφάλαια από την πώληση των ακινήτων τους.

Πέρα απ' αυτά, επειδή ο κόσμος στις πόλεις δεν είχε λόγο να κυκλοφορεί μετά τις 7 το βράδυ και οι εταιρίες των τραμ δεν είχαν πελάτες για τα οχήματά τους, επινοήθηκε η δημιουργία «πάρκων αναψυχής» στην περιφέρεια των πόλεων, εκεί που τερμάτιζε το τραμ. Τα πάρκα αυτά, πρόγονοι των σημερινών Λούνα Παρκ, με τραινάκια, κούνιες κ.ά., όλα ηλεκτροκίνητα και πολύχρωμα φωτισμένα, ανήκαν στις εταιρίες που διαχειρίζονταν τις γραμμές του τραμ. Σ' αυτά τα πάρκα σύχναζε κυρίως η νεολαία με δυνατότητες αναψυχής, συναναστροφών και γνωριμιών. Αποτέλεσμα ήταν να προκύψουν διαμαρτυρίες των συντηρητικών κύκλων, ότι στα πάρκα με όλα αυτά τα μοντέρνα κατασκευάσματα που αξιοποιούσαν τον ηλεκτρισμό, διαβρωνόταν η ηθική των νέων - μόνιμη επωδός των οπισθοδρομικών και ζηλόφθονων στην κοινωνία, οι οποίοι δεν αντιλαμβάνονται και δεν χρειάζονται τις τεχνολογικές αλλαγές και γι' αυτό ενοχλούνται όταν άλλοι άνθρωποι τις αξιοποιούν.

Οι «οραματιστές», κοινωνιολόγοι, δημοσιογράφοι κ.ά., προέβλεπαν σημαντικές εξελίξεις στην κοινωνία: τους υπηρέτες να κάνουν ευκολότερες δουλειές και στον ελεύθερο χρόνο τους να μαθαίνουν γράμματα, ίσως κάποτε να επιτρεπόταν δε και να ψηφίζουν, οι κύριοι θα είχαν περισσότερο ελεύθερο χρόνο με τον άπλετο βραδινό φωτισμό για να διαβάσουν βιβλία ή να δεξιώνονται καλεσμένους, ακόμα και οι γυναίκες θα μπορούσαν να συμμετάσχουν στην κοινωνική και πολιτική ζωή. Οι «ακραίοι» σχολιαστές προέβλεπαν δε ότι μπορεί κάποτε να ψηφίζουν και οι γυναίκες - μια δραστική ανατροπή στη βικτωριανή κοινωνία της Ευρώπης και της Αμερικής. Οι νέες τεχνολογίες προκαλούσαν αλλεπάλληλες και απρόβλεπτες αλλαγές στις συνήθειες της κοινωνίας, πράγμα που το ζούμε κι εμείς, εκατό τόσα χρόνια αργότερα με τις συνεχείς ανατροπές στην Ηλεκτρονική και την Πληροφορική.

Ήδη στα τέλη του 19ου αιώνα άρχισε η εξειδίκευση στις ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές. Αρχικά διαμορφώθηκαν τρεις κλάδοι, οι οποίοι αναπτύχθηκαν μέχρι το τέλος του β' παγκόσμιου πολέμου: Η τεχνική ισχυρών ρευμάτων που περιελάμβανε ηλεκτρικές μηχανές (κινητήρες, γεννήτριες, μετασχηματιστές), μονωτικά υλικά κ.ά. Η τεχνική φωτισμού, στην οποία απονέμονταν πολλά διπλώματα ευρεσιτεχνίας που κάλυπταν εσωτερικούς και εξωτερικούς φωτισμούς. Η τεχνική ασθενών ρευμάτων που κάλυπτε την τηλεγραφία και την τηλεφωνία.

Η πρώτη από αυτές τις κατευθύνσεις ονομάζεται σήμερα Ενεργειακή Τεχνολογία και καλύπτει, πέρα από τις μηχανές, επίσης τα θέματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η Φωτοτεχνία που είναι η συνέχεια της δεύτερης κατεύθυνσης, έχει ενσωματωθεί στην Ενεργειακή Τεχνική. Η τρίτη κατεύθυνση ονομάζεται σήμερα Τηλεπικοινωνίες και καλύπτει, ως γνωστόν, ευρύτερα αντικείμενα από τον τηλεγράφο και το τηλέφωνο. Πέρα από αυτές έχει προκύψει και η Τεχνολογία των Υπολογιστών, με τις γνωστές διασταυρώσεις της με τις Τηλεπικοινωνίες κτλ.

2.19 Ακτινοβολίες και ραδιενέργεια

Κατά τη μελέτη των ηλεκτρικών φαινομένων προσπαθούσαν οι ερευνητές να εξαναγκάσουν το ηλεκτρικό ρεύμα να διέλθει μέσα από κενό αέρα, ώστε να μπορέσουν να το μελετήσουν καλύτερα, αφού θα βρισκόταν έξω από την ύλη που το «έκρυβε». Ήδη ο Φαρανταίν είχε διαπιστώσει ότι, όταν το ρεύμα διερχόταν μέσα από κενό, ο γυάλινος σωλήνας έπαιρνε μια πρασινωπή λάμψη. Αυτή η λάμψη ονομάστηκε από τον George Gabriel Stokes (Στόουκς, 1819-1903) φθορισμός, ένας όρος που χρησιμοποιείται έκτοτε για κάθε μορφή ορατού φωτός που προέρχεται από την αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης. Ο Στόουκς διαπίστωσε το έτος 1852 ότι το μήκος κύματος της

εξερχόμενης ακτινοβολίας είναι πάντα μικρότερο από το μήκος κύματος του προσπίπτοντος φωτός. Το κενό που δημιουργούσαν όμως οι ερευνητές, δεν ήταν πλέον ικανοποιητικό και προερχόταν από αεραντλίες της εποχής των Toricelli, Guericke και Hook, κατά το 17ο αιώνα, με μείωση της πίεσης μέχρι τα 2-3 Torr. Έτσι η μελέτη της διέλευσης ρεύματος στο κενό δεν απέδιδε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το 1855 κατασκεύασε ο Johann Wilhelm Geissler (Γκάισλερ, 1814-1879), υαλουργός από εκπαίδευση, αλλά με ερευνητικές ανησυχίες, μία αεραντλία χωρίς κινούμενα μηχανικά μέρη, η οποία δημιουργούσε κενό της τάξης των 0,008 Torr, περί τις 300 φορές καλύτερο. για το σκοπό αυτό βελτίωσε ο Γκάισλερ την αεραντλία του Toricelli. Σ' αυτή την κατασκευή πραγματοποιούσε μια στήλη υδραργύρου κατακόρυφες ταλαντώσεις και το κενό που δημιουργείτο στο πάνω μέρος του σωλήνα απορροφούσε τον αέρα από ένα κλειστό δοχείο. Οι λεγόμενοι σωλήνες Γκάισλερ που διαδόθηκαν ευρέως και αξιοποιήθηκαν, μεταξύ άλλων, στις μελέτες για τη δομή του ατόμου, είχαν ενσωματωμένα ηλεκτρόδια από πλατίνα, μέσω των οποίων προκαλούσαν οι ερευνητές ηλεκτρικές εκκενώσεις. Όλες οι σημερινές καθοδικές λυχνίες και λάμπες φθορισμού είναι διάδοχες δημιουργίες εκείνων των πρώτων σωλήνων Γκάισλερ!

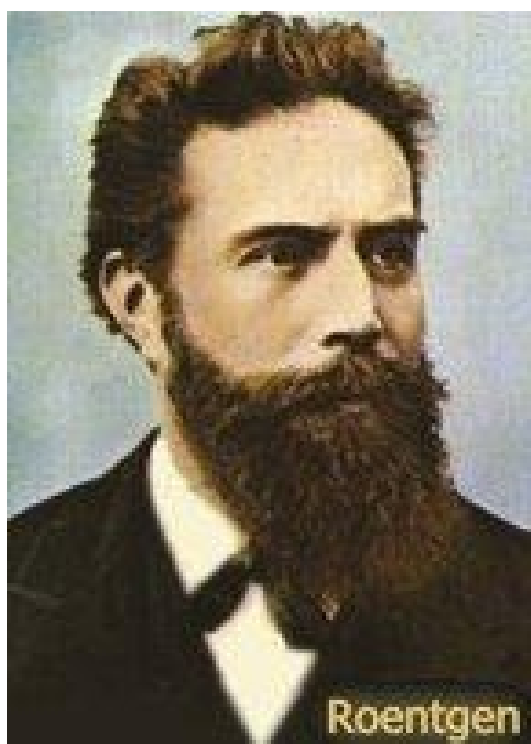
Η διέλευση ηλεκτρικών ρευμάτων δια μέσου του κενού αποτελούσε ερευνητικό αντικείμενο όλο και περισσότερων επιστημόνων. Το έτος 1876 επανέλαβε ο Γερμανός Φυσικός Eugen Goldstein (Γκολντστάιν, 1850-1930) τα πειράματα ενός παλαιότερου ερευνητή, του Julius Pluecker (Πλύκερ, 1801-1868), και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο φθορισμός εμφανίζεται στον κενό σωλήνα επειδή μια ροή ακτινοβολίας κινείται από την κάθοδο (το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο) στην οθόνη, στο σημείο του γυαλιού που φθορίζει. Αυτή η ακτινοβολία ονομάστηκε καθοδική και οι ακτίνες καθοδικές.

Με αυτά τα συμπεράσματα του Γκόλντστάιν άρχισε να διαφαίνεται ότι ο Βενιαμίν Φραγκλίνος είχε «ατυχήσει» το έτος 1752, όταν όρισε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει από τον πόλο που ονόμασε αυθαίρετα θετικό στον άλλο που ονόμασε αρνητικό. Στον καθοδικό σωλήνα φαινόταν σαφώς ότι το ρεύμα εκινείτο στην αντίθετη κατεύθυνση, η οποία σήμερα ονομάζεται φορά των ηλεκτρονίων, ενώ η κατεύθυνση του Φραγκλίνου, ονομάζεται συμβατική φορά του ρεύματος.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1890 δημιούργησε ο Γάλλος Φυσικός Antoine H. Becquerel (Μπεκερέλ, 1852-1908) τις βάσεις για την κατανόηση των φαινομένων φθορισμού που παρουσιάζονταν σε ορισμένες ενώσεις φωσφόρου. Τα φαινόμενα αυτά ήταν ήδη γνωστά, αλλά δεν υπήρχε κάποια αξιόπιστη ερμηνεία τους. Ο Μπεκερέλ, συνεχίζοντας τα πειράματα του Στόουκς, προσδιόρισε τα μήκη κύματος του προσπίπτοντος φωτός και της εξερχόμενης

ακτινοβολίας, τη διάρκεια του φαινομένου του φωσφορισμού και την εξάρτηση από τη θερμοκρασία.

Ο Γερμανός καθηγητής στο πανεπιστήμιο Wuerzburg (Franken), Wilhelm Conrad Roentgen (Ραίντγκεν, 1845-1923), εκτελούσε πειράματα για μελέτη φαινομένων ιονισμού λόγω πρόσκρουσης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούσε μία οθόνη με φθορίζον υλικό για την οπτική καταγραφή του ιονισμού. Κατά τη διάρκεια πειραμάτων με πολύ υψηλές τάσεις (30-50kV) παρατήρησε ο ερευνητής ένα ανεξήγητο φαινόμενο που οφειλόταν σε μια άγνωστη μέχρι τότε ακτινοβολία. Ένα χαρτί καλυμμένο με φθορίζον υλικό έλαμπε όση ώρα λειτουργούσε ο καθοδικός σωλήνας, ακόμα και όταν το χαρτί αυτό μεταφερόταν σε διπλανή αίθουσα. Κάποια στιγμή είδε ο Ραίντγκεν να απεικονίζεται στη φθορίζουσα οθόνη το χέρι του, όπου τα οστά απορροφούσαν περισσότερο την ακτινοβολία απ' ότι ο περιβάλλον ιστός.



Εικόνα 29: Wilhelm Conrad Roentgen

Ο παρατηρητής έβλεπε στην οθόνη, αρχικά για σύντομο χρονικό διάστημα, το σκελετό του χεριού. Αυτή η (άγνωστη) ακτινοβολία ονομάστηκε καταρχήν X και, μετά το θάνατο του ερευνητή ακτινοβολία Roentgen. Σήμερα γνωρίζουμε τη μεγάλη σημασία αυτών των ακτινών στην ιατροδιαγνωστική και σε διάφορες τεχνικές εφαρμογές.



Εικόνα 30: Ο σκελετός του χεριού που παρατήρησε ο Roentgen

Ως φθορίζον υλικό χρησιμοποίησε ο Ραίντγκεν στην οθόνη του ένα άλας, το λευκοχρυσό-κυανιούχο βάριο, $BaPt(CN)$. Σήμερα γνωρίζουμε ότι οι ακτίνες X δημιουργούνται, όταν προσπίπτουν ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια σε μεταλλικό σώμα και γι' αυτό υφίστανται ισχυρή πέδηση. Η κινητική ενέργεια των φορτίων μετατρέπεται κατά την πρόσκρουση κατά 99% σε θερμότητα και το υπόλοιπο 1% γίνεται μικροκύματη ακτινοβολία. Γι' αυτό δόθηκε τότε επίσης το όνομα ακτίνες πέδησης.

Τα επόμενα χρόνια κατασκευάστηκαν από πολλές εταιρίες λυχνίες Ραίντγκεν, οι πρώτες το 1899 με ψύξη νερού. Εκείνα τα χρόνια ξεκίνησαν οι ιατρικές ειδικότητες της Ραδιοσκοπίας και Ραδιογραφίας. Με την ανακάλυψη των ακτίνων X άνοιξε στην επιστήμη ένας νέος κόσμος, αυτός των αόρατων ακτίνων που γίνονταν «ορατές» με τεχνικά μέσα. Οι επιστημολόγοι διέβλεψαν τότε ότι με την εφεύρεση του Ραίντγκεν ξεκινάει μια νέα επαναστατική περίοδος για την επιστήμη. Ο ίδιος ο Ραίντγκεν πήρε το έτος 1901 το πρώτο βραβείο Νόμπελ Φυσικής.

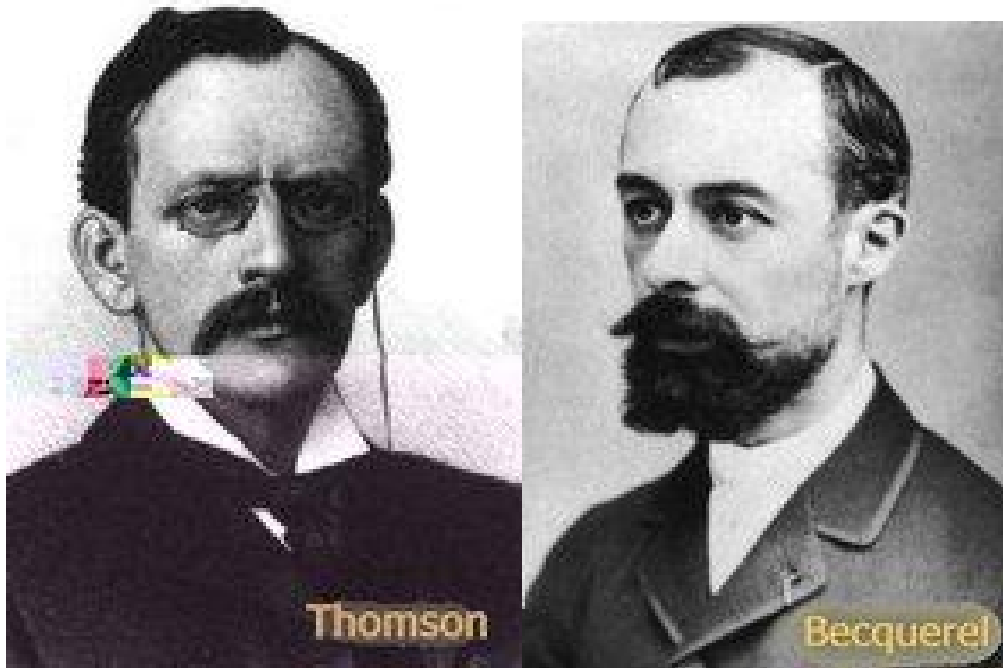
Κατά τη διάρκεια των πολλαπλών πειραμάτων του με λαμπτήρες πυρακτώσεως συνάντησε ο Edison στη διάρκεια του έτους 1884 ένα περίεργο φαινόμενο: από τον αρνητικό πόλο του σύρματος πυρακτώσεως προς ένα μεταλλικό ηλεκτρόδιο που είχε εισαχθεί στο κενό του λαμπτήρα, χωρίς να εφάπτεται στο σύρμα πυρακτώσεως, υπήρχε ένα ρεύμα, ενώ από το θετικό πόλο στο ηλεκτρόδιο δεν παρατηρείτο κάτι τέτοιο. Πέντε χρόνια αργότερα υποστήριζε ο

Βρετανός μηχανικός Ambrose Fleming (Φλέμινγκ, 1849-1945) ότι το ηλεκτρικό ρεύμα οφείλεται σε κίνηση αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων. Μετά από άλλα οκτώ χρόνια, το έτος 1897 κατάφερε ο επίσης Βρετανός φυσικός Joseph John Thomson (Τόμσον, 1856-1940) να εξηγήσει τη φύση αυτών των φορτισμένων σωματιδίων που ονομάστηκαν ηλεκτρόνια.

Ο Τόμσον απέδειξε την ύπαρξη των ηλεκτρονίων, την ικανότητά τους να μεταφέρουν φορτίο και προσδιόρισε επίσης τη μάζα και το φορτίο τους. Με την επιβολή ηλεκτρικών αλλά και μαγνητικών πεδίων τα φορτισμένα σωματίδια της καθοδικής δέσμης άλλαζαν τροχιά. Από το μέγεθος της εκτροπής μπορούσε ο Τόμσον να υπολογίσει το λόγο ηλεκτρικού φορτίου προς τη μάζα του σωματιδίου. Κι επειδή ήδη ο Φαρανταίν είχε υπολογίσει με ηλεκτρολυτικά πειράματα το φορτίο αυτού του σωματιδίου, κατέληξε ο Τόμσον στο συμπέρασμα ότι η μάζα του έπρεπε να είναι πολύ μικρή. Το ηλεκτρόνιο ήταν το πρώτο υποατομικό σωματίδιο που ανακαλύφθηκε, πριν ακόμα καταλήξουν οι ερευνητές σε μια αποδεκτή θεωρία για τη δομή του ατόμου.

Επηρεασμένος από την ανακάλυψη του Ραίντγκεν, άρχισε ο Μπεκερέλ να αναζητάει ακτίνες X σε ακτινοβολίες που εκπέμπονται από άλλα φθορίζοντα υλικά. Ένα από αυτά τα υλικά, το θεικό καλιοουρανύλιο, έπρεπε να παράγει ακτίνες X, όταν βρίσκεται στο ηλιακό φως, οι οποίες ακτίνες θα διαπερνούσαν ένα μαύρο χαρτί και θα αποτυπώνονταν σε φωτογραφική πλάκα. Μία από τις δοκιμές του Μπεκερέλ έδειξε όμως ότι η πλάκα είχε επηρεαστεί, παρ' ότι κάποιες ημέρες ήταν συννεφιασμένες και δεν έπρεπε να είχαν προκληθεί ακτίνες X. Αυτά τα ίχνη στην πλάκα έπρεπε να προέρχονται από άλλου είδους ακτινοβολία.

Τα πειράματα με το θεικό καλιο-ουρανύλιο συνεχίστηκαν από την Πολωνίδα Marie Sklodowska-Curie (Σκλοντόβσκα-Κιουρί, 1867-1934) που εργαζόταν στη Γαλλία και ήταν σύζυγος του επίσης ερευνητή Piere Curie (Κιουρί, 1859-1906). Το έτος 1897 χρησιμοποίησε η Κιουρί το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο που είχε ανακαλύψει ο άντρας της το 1880 για να μετρήσει την ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από διάφορες ενώσεις του ουρανίου. Αυτή η ένταση ήταν πάντα ανάλογη της περιεχόμενης στην ένωση ποσότητας ουρανίου, άρα επρόκειτο για ατομικό και όχι για μοριακό φαινόμενο.



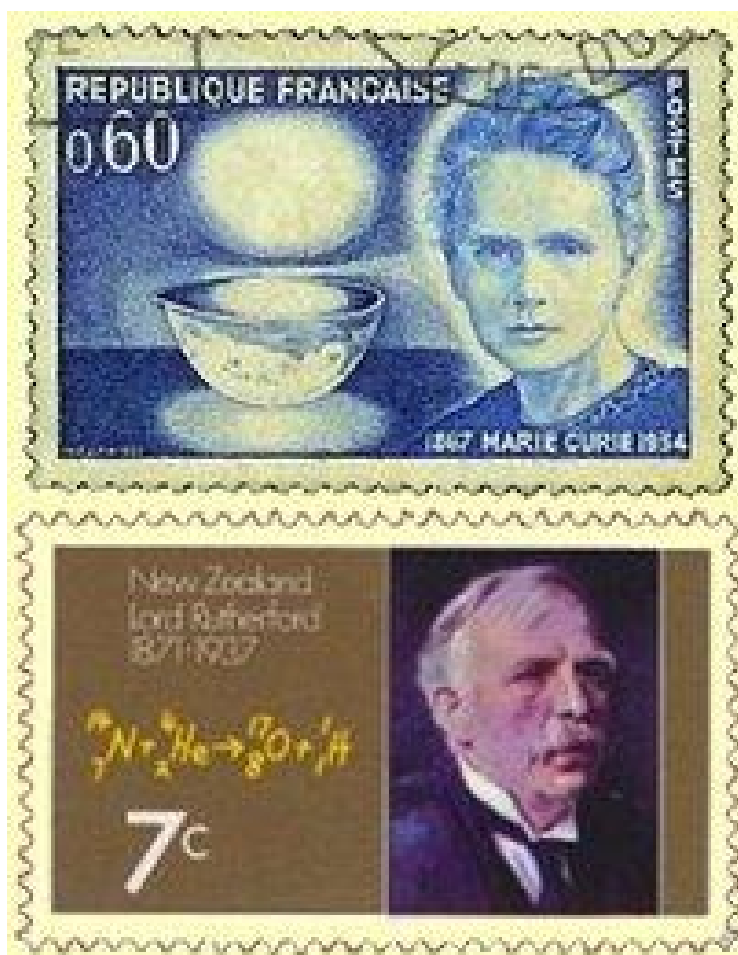
Εικόνα 31: Joseph John Thomson και Antoine H. Becquerel

Βέβαια, οι ακτινοβολίες του ουρανίου δεν ήταν όλες του ίδιου είδους: ένα μέρος έδειχνε από την εκτροπή ότι είχε θετικό φορτίο, ένα άλλο μέρος είχε μεγαλύτερη εκτροπή στην αντίθετη κατεύθυνση, οπότε έπρεπε να έχει αρνητικό φορτίο. Επειδή και οι δύο ακτινοβολίες αποτελούσαν ροή σωματιδίων, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα σωματίδια της ακτινοβολίας πρώτου είδους είχαν μεγαλύτερη μάζα από αυτά της ακτινοβολίας του δεύτερου είδους. Ο Νεοζηλανδός φυσικός που εργαζόταν στη Βρετανία Ernest Rutherford (Ράδερφορντ, 1871-1937) ονόμασε την ακτινοβολία με τη μεγαλύτερη μάζα των σωματιδίων και θετικό φορτίο ακτινοβολία άλφα και την άλλη, με τα σωματίδια μικρής μάζας και αρνητικό φορτίο ακτινοβολία βήτα.

Το έτος 1898 συνέχισαν η Μαρία και ο Πιέρ Κιουρί τα πειράματα με άλλα υλικά, όπως το βαρύ μέταλλο θόριο και διαπίστωσαν ότι παράγεται από μία επίσης άγνωστη ακτινοβολία, η οποία ονομάστηκε ραδιενέργεια. Το ουράνιο και το θόριο χαρακτηρίστηκαν τότε ραδιενεργά στοιχεία. Η Μαρία Κιουρί ανακάλυψε επίσης ότι μερικά ουρανιούχα μεταλλεύματα παράγουν πολύ περισσότερη ραδιενέργεια από αυτή που θα δικαιολογούσε η περιεκτικότητά τους σε ουράνιο. Υπέθεσε τότε ότι αυτές οι ενώσεις περιέχουν σε μικρές ποσότητες άλλα υλικά, τα οποία είναι ισχυρά ραδιενεργά. Λίγο μετά εντοπίστηκαν πράγματι δύο νέα στοιχεία, αρχικά ένα που ονομάστηκε Πολώνιο και αργότερα ένα άλλο που ονομάστηκε Ράδιο, επειδή αυτό ακτινοβολούσε πολύ έντονα.

Το έτος 1903 τιμήθηκαν ο Μπεκερέλ, η Μαρία και ο Πιέρ Κιουρί με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής. Το έτος 1911, αφού είχε σκοτωθεί ο Πιέρ Κιουρί σε ατύχημα, τιμήθηκε και πάλι η Μαρία Κιουρί με το Νόμπελ Χημείας για την ανακάλυψη των στοιχείων Πολόνιο και Ράδιο. Έτσι, η Μαρία Κιουρί είναι έκτοτε, αφενός η πρώτη γυναίκα που τιμήθηκε με βραβείο Νόμπελ, αφετέρου το μόνο πρόσωπο που έχει λάβει δύο βραβεία Νόμπελ σε διαφορετικές επιστήμες.

Με τις έρευνες στον τομέα των πυρηνικών διεργασιών και υλικών και με την αξιοποίηση νεότερων επιστημονικών θεωριών (Κβαντομηχανική, Σχετικότητα κ.ά.), οδηγήθηκαν κατά τη διάρκεια του β' παγκόσμιου πολέμου ερευνητές και τεχνικοί που ζούσαν στις ΗΠΑ, στην κατασκευή της ατομικής βόμβας. Έτσι πέρασε η ανθρωπότητα στη νέα εποχή της πυρηνική ενέργειας, η οποία αξιοποιείται για ειρηνικούς και πολεμικούς σκοπούς.



Εκόνα 32: Γαλλικά γραμματόσημά αφιερωμέασ τους Marie Sklodowska-Curie και Ernest Rutherford

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

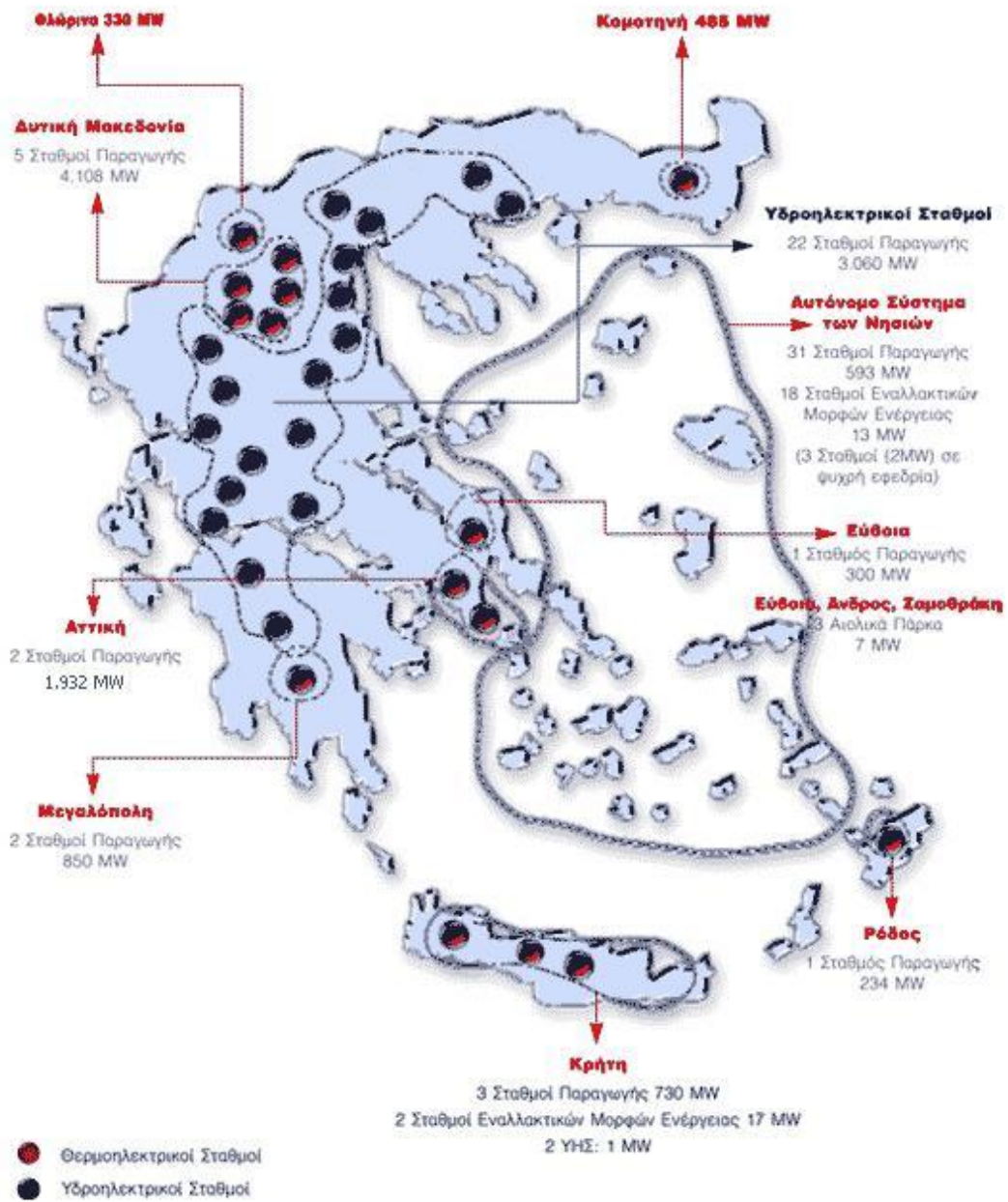
Η ΔΕΗ με ένα τεράστιο κατασκευαστικό έργο εξασφαλίζει την επάρκεια της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι 34 μεγάλοι θερμικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί και τα 3 αιολικά πάρκα του διασυνδεδεμένου συστήματος της ηπειρωτικής χώρας καθώς και οι 61 αυτόνομοι σταθμοί Κρήτης, Ρόδου και λοιπών νησιών μας (39 θερμικοί, 2 υδροηλεκτρικοί, 15 αιολικά πάρκα και 5 φωτοβολταϊκοί σταθμοί) συνιστούν το βιομηχανικό κολοσσό της ΔΕΗ που αποτελεί την ενεργειακή βάση κάθε οικονομικής δραστηριότητας στη χώρα μας



Εικόνα 33: Αιολικό πάρκο στο Παναχαϊκό Όρος

Τα τελευταία χρόνια η Επιχείρηση, πέραν της δημιουργίας νέων θερμικών (λιγνιτικών, πετρελαϊκών, φυσικού αερίου) και υδροηλεκτρικών σταθμών, στρέφεται και προς την αξιοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, γεωθερμία). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των 98 συνολικά σταθμών της ΔΕΗ ανέρχεται σήμερα στα 12.760 MW.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



Εικόνα 34: Οι σταθμοί παραγωγής στον ελλαδικό χώρο

3.1 Παραδοσιακές Πηγές Ηλεκτρισμού

Ηλεκτρισμό παράγουμε με τους παρακάτω τρόπους:

3.1.1 Η τριβή

Τρόπος πολύ παλιός. Κατασκευάστηκαν διάφορες μηχανές, όπως του Ράμσντεν (τρίψιμο γυάλινου δίσκου πάνω σε δερμάτινες βούρτσες), του Χόλτζ (τρίψιμο δυο γυάλινων δίσκων), του Βίμσουρστ (τρίψιμο δυο δίσκων με εβονίτη) κλπ. Ο ηλεκτρισμός που παράγεται συγκεντρώνεται σε δυο σφαίρες ή μεταλλικές ράβδους. Αν πλησιάσουν οι δυο σφαίρες, παράγεται ηλεκτρικός σπινθήρας. Ο ηλεκτρισμός αυτός δεν μεταδίδεται και λέγεται στατικός.

3.1.2 Η χημική ενέργεια

Πρώτος ο Βόλτα έφτιαξε ηλεκτρισμό με χημική ενέργεια (στοιχείο του Βόλτα). Όλα τα ξηρά στοιχεία (στήλες) μας δίνουν ρεύμα με χημική ενέργεια. Αντίθετα οι μπαταρίες (συσσωρευτές) μας δίνουν το ρεύμα που τους δώσαμε, με χημικές αντιδράσεις. Η θερμότητα. Στη συγκόλληση δυο διαφορετικών μετάλλων παράγεται ηλεκτρισμός.

3.1.3 Το φως

Το ηλιακό φως είναι μια απέραντη πηγή παραγωγής ηλεκτρισμού. Ακόμη στις μέρες μας δεν έχει πρακτικά εφαρμοστεί η μέθοδος παραγωγής ηλεκτρισμού από την ηλιακή ενέργεια. Πολλές μελέτες βρίσκονται στο στάδιο του πειραματισμού. Σύντομα όμως, με φωτοκυψέλες ή φωτοηλεκτρικά κύτταρα θα παράγουμε ηλεκτρισμό.

3.1.4 Ο μαγνητισμός

Είναι ο κύριος και βασικός τρόπος παραγωγής ηλεκτρισμού.

3.2 Τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Ηλεκτρική ενέργεια παράγουμε μέσω εξειδικευμένων σταθμών παραγωγής: Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνονται σε κατηγορίες, ανάλογα με το είδος της πρωτογενούς ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική, το είδος του καυσίμου και την τεχνολογία. Έτσι, υπάρχουν:

1. Οι Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί
2. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί
3. Οι θερμικοί σταθμοί με μηχανές εσωτερικής καύσης
4. Οι θερμικοί σταθμοί με αεριοστρόβιλους
5. Οι πυρηνικοί σταθμοί

3.2.1 Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί



Εικόνα 35: Εξωτερική άποψη ατμοηλεκτρικού σταθμού

Οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί λέγονται και ατμοηλεκτρικοί, γιατί εκμεταλλεύονται τη δύναμη του ατμού. Τέτοιοι σταθμοί έχουν έναν ή περισσότερους κεντρικούς λέβητες, στους οποίους καίνε λιγνίτη, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Η θερμότητα που παράγεται από την καύση βράζει ποσότητες νερού, οι οποίες βρίσκονται σε ένα δίκτυο σωληνώσεων. Έτσι, το νερό μετατρέπεται σε ατμό υψηλής πίεσης, ο οποίος θέτει σε κίνηση μια τουρμπίνα (ατμοστρόβιλο). Η τουρμπίνα μεταδίδει την κίνηση σε μια γεννήτρια και έχουμε έτσι παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Έπειτα, ο ατμός συμπυκνώνεται και γίνεται έτσι πάλι νερό που οδηγείται ξανά στο λέβητα. Οι ατμοηλεκτρικοί

σταθμοί παραγωγής είναι οι πιο οικονομικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες.



Εικόνα 36: Διάγραμμα ατμοηλεκτρικού σταθμού

3.2.2 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί



Εικόνα 37: Υδροηλεκτρικό φράγμα

Η δύναμη της βαρύτητας κινεί το νερό των ποταμών προς τη θάλασσα. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός παρεμβάλλεται σ' αυτήν τη ροή

και τη χρησιμοποιεί για την περιστροφή στροβίλων. Οι στρόβιλοι συνδέονται με γεννήτριες, οι οποίες μας δίνουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Η υδροηλεκτρική παραγωγή δεν μπορεί να βασιστεί σ' έναν ποταμό, ο οποίος την περίοδο των βροχών είναι γεμάτος, αλλά συρρικνώνεται την περίοδο της ξηρασίας. Γι' αυτό συνήθως χτίζεται ένα φράγμα, το οποίο συγκρατεί το νερό την περίοδο της αφθονίας και το χρησιμοποιεί στην ξηρασία. Το φράγμα σχηματίζει λίμνη, η οποία μπορεί να διαθέσει νερό για άρδευση. Υπάρχει όμως και μια άλλη κατηγορία υδροηλεκτρικών σταθμών, οι οποίοι δεν εκμεταλλεύονται την ενέργεια των υδατοπτώσεων αλλά την ώθηση της παλίρροιας. Η παραγωγή ηλεκτρισμού με εκμετάλλευση της δύναμης του νερού δεν μολύνει την ατμόσφαιρα, όπως οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί και δεν δημιουργεί επικίνδυνα και μακρόβια πυρηνικά απόβλητα, όπως οι πυρηνικοί.

3.2.3 Θερμικοί σταθμοί με ΜΕΚ

Οι αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης Diesel και βρίσκονται συνήθως σε πολλά νησιά της χώρας μας. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιούνται διότι οι αεριοστρόβιλοι είναι ασύμφοροι για μικρές ισχύς πχ της τάξης των μερικών MW. Οι ΜΕΚ ονομάζονται έτσι διότι η καύση του καυσίμου γίνεται μέσα σε αυτές ενώ στους ατμοστρόβιλους γίνεται έξω από αυτούς (στον λέβητα).

Τα βασικά πλεονεκτήματα των μηχανών Diesel ως προς τις ατμοκίνητες είναι:

1. Οι ΜΕΚ είναι ελαφρότερες για την ίδια ισχύ.
2. Μπαίνουν σε λειτουργία και φορτίζονται αμέσως.
3. Δεν έχουν πολύπλοκες εγκαταστάσεις.
4. Έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης σε μικρές και μέσες ισχύς (ως 5 MW).
5. Χρειάζονται λιγότερο χώρο για τις εγκαταστάσεις.
6. Λειτουργούν με λίγο προσωπικό.

Τα βασικά μειονεκτήματα είναι:

1. Χρειάζονται συχνά συντήρηση και ειδικευμένο προσωπικό.
2. Παθαίνουν συχνά βλάβες.

Θερμικοί σταθμοί με αεριοστρόβιλους

Οι αεριοστρόβιλοι είναι περιστροφικές μηχανές. όπως οι ατμοστρόβιλοι και ανήκουν στις ΜΕΚ. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι ελαφρύ πετρέλαιο με απόσταξη αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο βαρύτερο πετρέλαιο όσο και φυσικό αέριο. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες αεριοστρόβιλων (ανοικτού, κλειστού,

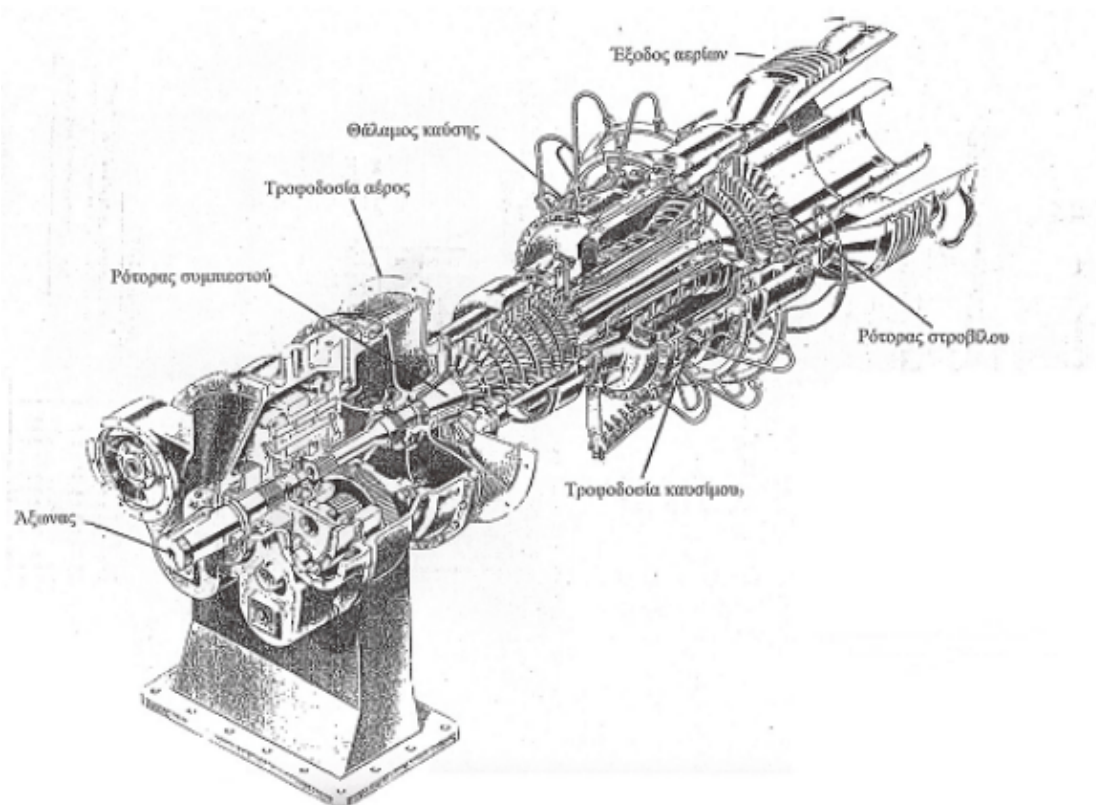
μικτού κυκλώματος) αλλά σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά οι αεριοστρόβιλοι ανοικτού κυκλώματος.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των αεριοστρόβιλων σε σχέση με τους ατμοστρόβιλους είναι:

1. Οι αεριοστρόβιλοι είναι απλούστερες μηχανές οπότε χρειάζονται λιγότερο και λιγότερο ειδικευμένο προσωπικό και απλούστερη συντήρηση.
2. Δεν χρειάζονται νερό τροφοδοσίας.
3. Ξεκινούν εύκολα και γρήγορα φτάνουν στην πλήρη φόρτιση με αποτέλεσμα να μπορούν να εξυπηρετήσουν αιχμές φορτίου.
4. Έχουν χαμηλές πιέσεις λειτουργίας.

Τα βασικά μειονεκτήματα των αεριοστρόβιλων σε σχέση με τους ατμοστρόβιλους είναι:

1. Τα καύσιμά τους είναι ακριβά.
2. Έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης.



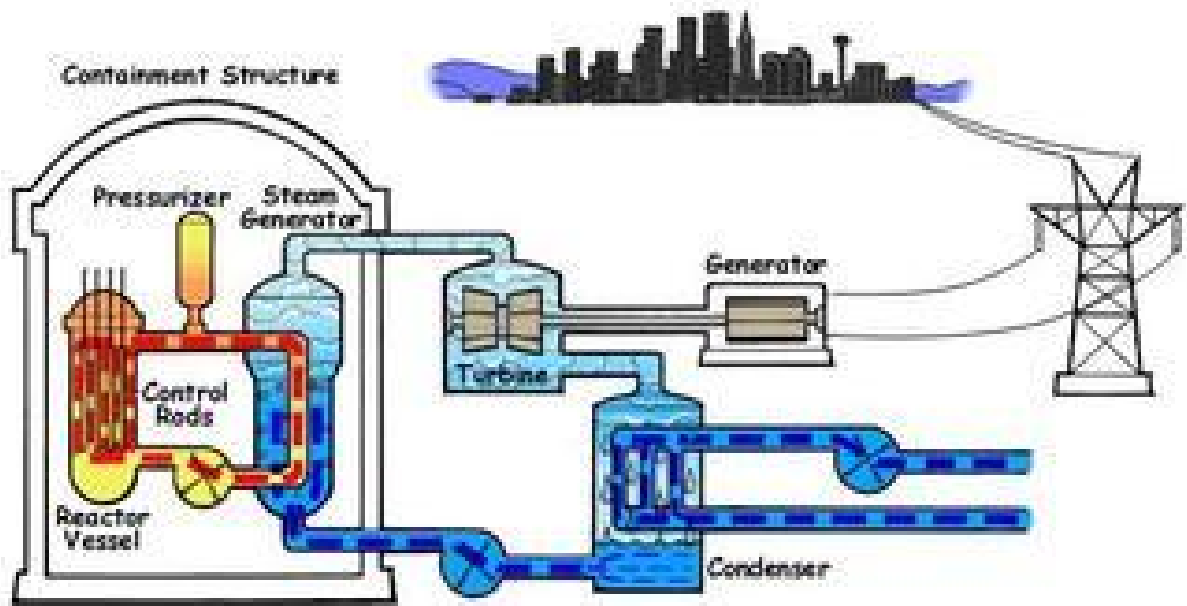
Εικόνα 38: Αεριοστρόβιλος σε τομή

3.2.4 Πυρηνικοί Σταθμοί

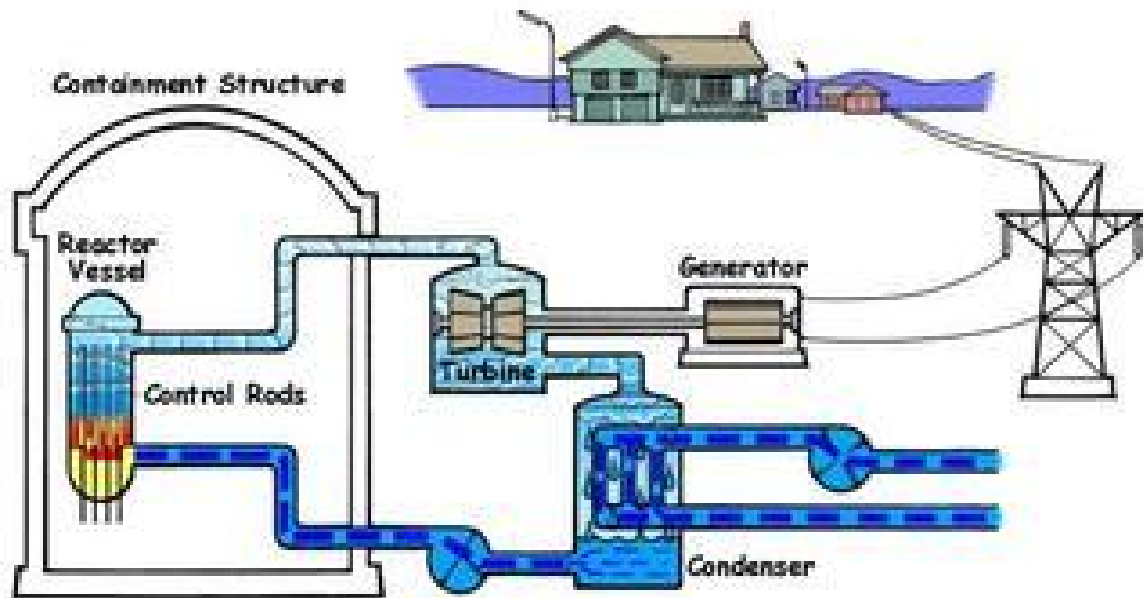


Εικόνα 39: Πυρηνικός σταθμός ενέργειας στο Κατενόμ της Γαλλίας. Μη ραδιενεργός ατμός εξέρχεται από τους ψυκτικούς πύργους

Σε έναν τυπικό πυρηνικό αντιδραστήρα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ο πυρήνας του αντιδραστήρα (reactor core) αποτελείται από 80 με 100 τόνους ουρανίου σε παραπάνω από 30 000 ράβδους καυσίμων. Οι ράβδοι καυσίμων αποδίδουν τη θερμότητα που παράγουν στο νερό, σε μια σειρά αμοπαγωγών (μπόϊλερ) ή άμεσα (το δοχείο του αντιδραστήρα είναι και δοχείο αμοπαγωγής, σύστημα τύπου BWR). Ο ατμός συνεχίζει την πορεία του για την κίνηση αμοστροβίλων (τουρμπίνες) που συνδέονται με μια ηλεκτρική γεννήτρια. Ακολουθεί ψύξη του κορεσμένου αμού που εξέρχεται από τους αμοστροβίλους, ο οποίος συμπυκνώνεται και διοχετεύεται και πάλι στο σύστημα. Ο διαχωρισμός του νερού ψύξης σε δακτυλίους συμβάλει στην ελαχιστοποίηση του ρίσκου να φτάσει το μολυσμένο νερό στο περιβάλλον. Οι μεγάλες ποσότητες αμού που βλέπουμε να εξέρχονται από τους πύργους ψύξης προέρχονται από κύκλωμα νερού ψύξης που είναι ανεξάρτητο από το σύστημα αμοπαγωγής.



Εικόνα 40: Πυρηνικός σταθμός με μπίλιερ



Εικόνα 41: Πυρηνικός σταθμός με δοχείο ατμοπαραγωγής, σύστημα τύπου BWR

3.3 Εναλλακτικές Μορφές Ηλεκτρισμού

Οι κυριότερες εναλλακτικές πηγές ενέργειας είναι:

1. Η αιολική ενέργεια.
2. Η ηλιακή ενέργεια.
3. Η ενέργεια από τα κύματα.
4. Η ενέργεια από την βιομάζα.

ενώ ως νέας πηγή ενέργειας εμφανίζεται η ενέργεια από τα δέντρα.

3.3.1 Η αιολική ενέργεια



Εικόνα 42: Αποψη ανεμογεννητριών

Αυτή παράγεται από τα αιολικά πάρκα, τα οποία αποτελούνται από πολλές συστοιχίες ανεμογεννητριών που εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια που υπάρχει σε αρκετές περιοχές με ικανοποιητικές ταχύτητες ανέμου. Η ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια αλλά ούτε η τιμή της παραγόμενης τάσης ούτε η συχνότητα είναι σταθερές διότι εξαρτώνται από την ταχύτητα του ανέμου. Έτσι, ενδιάμεσο βήμα είναι η μετατροπή της παραγόμενης τάσης σε συνεχή μέσω ανορθωτή και η φόρτιση συσσωρευτών σε αυτόνομα συστήματα

ή η μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τάση μέσω αντιστροφέα και η σύνδεσή της με το υπάρχον δίκτυο καταναλωτών ή η χρήση ασύγχρονης γεννήτριας και η άμεση σύζευξή της με το δίκτυο. Ένα από τα λίγα μειονεκτήματα που εμφανίζει η αιολική ενέργεια είναι πως μπορούν να προκαλέσουν θανατώσεις πουλιών, ειδικά κατά την μεταναστευτική περίοδο. Γι' αυτό με τις μελέτες αποφεύγουν να κατασκευάζονται αιολικά πάρκα σε περιοχές, όπου περνούν αποδημητικά πτηνά.

Η Ελλάδα, αν και έχει ένα από μεγαλύτερα αιολικά δυναμικά στην Ευρώπη δεν έχει εκμεταλλευτεί το γεγονός αυτό, για να λύσει το ενεργειακό της πρόβλημα. Ειδικά τα νησιά του Αιγαίου θα μπορούσαν να έχουν λύσει το ενεργειακό τους πρόβλημα με την κατασκευή ανεμογεννητριών, όμως το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό δεν ξεπερνάει στην χώρα μας το 13% του συνολικού δυναμικού.

3.3.2 Η ηλιακή ενέργεια



Εικόνα 43: Φωτοβολταικά πάνελ

Αυτή παράγεται από τα ηλιακά πάρκα τα οποία αποτελούνται από συστοιχίες ηλιακών συλλεκτών με φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα οποία παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα με την μορφή συνεχούς τάσης. Κατά κανόνα το παραγόμενο ρεύμα φορτίζει συσσωρευτές η τάση των οποίων μέσω αντιστροφέα μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη για να χρησιμοποιηθεί είτε τοπικά ή να διανεμηθεί μέσω δικτύου διανομής. Συνήθως παράλληλα με το ηλιακό πάρκο υπάρχουν και άλλες συμβατικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως οι σταθμοί παραγωγής με γεννήτριες που κινούνται από μηχανές εσωτερικής καύσεως ή αεριοστρόβιλους.

3.3.3 Η ενέργεια από τα κύματα



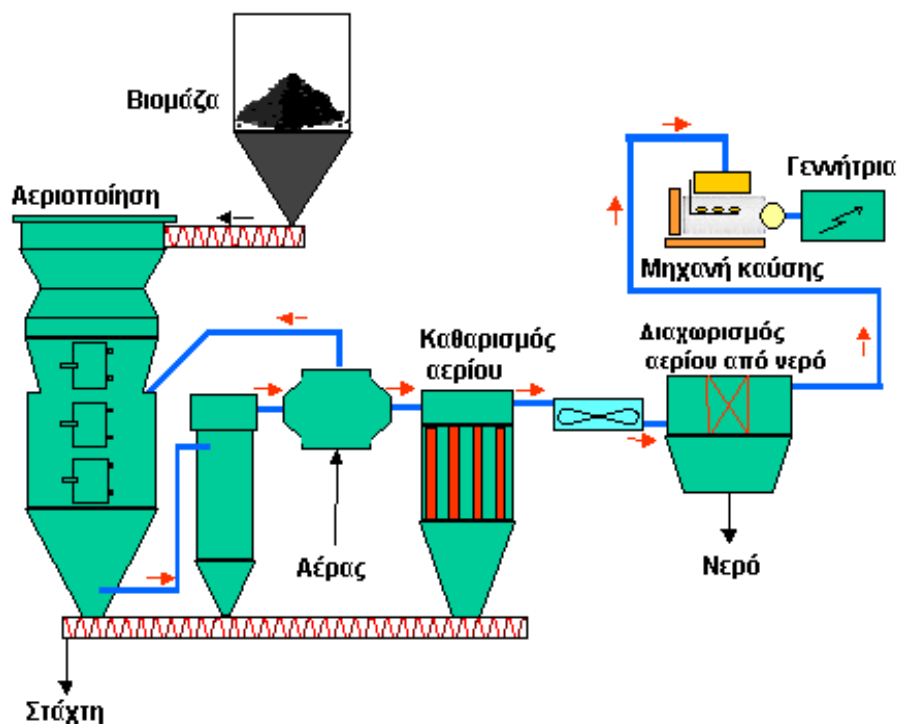
Εικόνα 44: Εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας από τα κύματα

Τα τεράστια κύματα που παρατηρούνται σε πολλές παραθαλάσσιες περιοχές και που τόσο ταλαιπωρούν τους εκεί κατοίκους, θα πρέπει να αντιμετωπίζονται περισσότερο σαν ευλογία παρά σαν κατάρρα. Η αξιοποίηση των ορμητικών κυμάτων μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με πολύ μικρό κόστος τόσο οικονομικό όσο και περιβαλλοντολογικό. Συγκεκριμένα, αυτή η παραγόμενη ενέργεια φαίνεται ότι θα κοστίζει φθηνότερα απ' ό, τι συμβαίνει με πολλές άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών, αφού, σύμφωνα με τους υπεύθυνους κατασκευής της μονάδας, θα κοστίζει μόλις 0,07 ευρώ ανά κιλοβατώρα. Αν η αξιοποίηση της κίνησης των κυμάτων για την παραγωγή ρεύματος βρίσκεται σε εμβρυακό στάδιο, αυτό δεν οφείλεται στο γεγονός ότι η κυματική ενέργεια δεν μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών. Άλλωστε, η συγκεκριμένη πηγή ενέργειας παρουσιάζει κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα ότι είναι προβλέψιμη, αφού στους ανοικτούς ωκεανούς οι δορυφόροι μπορούν να υπολογίσουν έως και δύο ημέρες νωρίτερα πότε τα κύματα θα φτάσουν κοντά στη στεριά. Επίσης, καθώς η πλειονότητα του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί σε ακτίνα μικρότερη των 30 χιλιομέτρων από κάποια παράκτια περιοχή, τα «κυματικά πάρκα» θα μπορούσαν να καλύψουν τις ανάγκες τους σε ρεύμα χωρίς να χρειαστεί μεγάλη επέκταση των ηλεκτρικών δικτύων. Και βέβαια, τα κύματα είναι πιο ισχυρά το χειμώνα – όταν είναι μεγαλύτερη και η ζήτηση για ηλεκτρισμό.

Εξάλλου, όλοι γνωρίζουμε ότι ακόμη κι όταν ο άνεμος κοπάσει και οι ανεμογεννήτριες πάψουν να λειτουργούν, ο κυματισμός της

θάλασσας μπορεί να διαρκέσει για αρκετές ακόμη ώρες, με συνέπεια μονάδες σαν τη «Wave Dragon» να συνεχίσουν να παράγουν ρεύμα. Μάλιστα, σύμφωνα με έκθεση του Παγκόσμιου Οργανισμού Ενέργειας, τα «κυματικά πάρκα» θα μπορούσαν να καλύψουν έως και το 50% της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στη Γηραιά Ήπειρο.

3.3.4 Η ενέργεια από την βιομάζα



Εικόνα 45: Μονάδα παραγωγής βιομάζας

Η βιομάζα με την ευρύτερη έννοια του όρου περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και/ ή αέριων καυσίμων. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες. Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης.

Κατά την χρησιμοποίηση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας με διαδικασίες μετατροπής (όπως η καύση) απελευθερώνεται η ενέργειά της υπό τη μορφή θερμότητας ενώ παράγεται διοξείδιο του άνθρακα που έρχεται να αντικαταστήσει το διοξείδιο του άνθρακα που απορροφούνταν όσο το φυτό αναπτυσσόταν. Σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να αναφερθεί, ότι η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας είναι η αντιστροφή της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης.

Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Επίσης, η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή. Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος. Τέλος, η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι, κενάφ) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλιάνθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

3.3.5 Η ενέργεια από τα δέντρα

Η φράση «πράσινη» ενέργεια αποκτά κυριολεκτική σημασία, όταν πρόκειται τα δέντρα να γίνουν πηγές τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος. Όσο κι αν ακούγεται αδιανόητο, αυτό ακριβώς είναι το όραμα ορισμένων επιστημόνων, που φιλοδοξούν να μετατρέψουν σε γεννήτριες τα δέντρα γύρω μας. Η «τρελή» ιδέα κερδίζει έδαφος και, αν κάποτε υλοποιηθεί, όχι μόνο θα μπορεί κάποιος να συνδέει μια ηλεκτρονική συσκευή για φόρτιση στον κορμό ενός δέντρου, αλλά τα ίδια τα δάση θα μπορούν να παρέχουν ηλεκτρισμό σε τεράστια δίκτυα αισθητήρων, που θα προειδοποιούν έγκαιρα για πυρκαγιές. Είναι ήδη γνωστό ότι αν κάποιος βάλει ηλεκτρόδια από δύο διαφορετικά μέταλλα (συνήθως χαλκό και ψευδάργυρο) σε ένα φυτό (π.χ. πατάτα), μπορεί να παραχθεί μια μικρή ποσότητα ηλεκτρισμού - κάτι που έχει αξιοποιηθεί δεόντως και σε παιδικά πειράματα. Πέρυσι, μια ομάδα ερευνητών του πανεπιστημίου MIT των ΗΠΑ, υπό τον Αντρέας Μερσίν, έβαλε ηλεκτρόδια από το ίδιο μέταλλο στον κορμό ενός δέντρου και στο γειτονικό χώμα και απέδειξε ότι επίσης παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα, πιθανώς από τη διαφορά του pH

ανάμεσα στο δέντρο και το χώμα, μια χημική ανισορροπία που διατηρείται από τις μεταβολικές διαδικασίες του δέντρου. Το ερώτημα είναι αν μπορεί να παραχθεί ρεύμα υψηλότερης τάσης, ώστε να είναι χρήσιμο. Τα δέντρα φαίνεται να μπορούν να παράγουν ένα συνεχές βολτάζ ανάμεσα στα 20 και σε λίγες εκατοντάδες मिलीवोल्ट (ένα millivolt είναι το ένα χιλιοστό του βολτ), δηλαδή πολύ λιγότερο από το ρεύμα τάσης 1,5 βολτ που παράγει μια συμβατική μπαταρία AA. Ο ηλεκτρολόγος μηχανολόγος Μπάμπιακ Πάρβιτς του Πανεπιστημίου της Ουάσιγκτον στο Σιάτλ και οι συνεργάτες του, κάνοντας πειράματα με σφεντάμια, κατάφεραν να αυξήσουν την τάση που παρήγαγε το δέντρο, προσθέτοντας στον κορμό μια συσκευή ενίσχυσης της τάσης. Ο μετατροπέας αυτός για αρκετή ώρα βρίσκεται σε φάση αναμονής (stand-by), καθώς αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια από το δέντρο και κατά περιοδικά διαστήματα την απελευθερώνει με τάση 1,1 βολτ. Η περιοδικότητα της μετατροπής-ενίσχυσης του ρεύματος ελέγχεται από ένα συνδεδεμένο ρολόι (που τροφοδοτείται με ηλεκτρισμό επίσης από το δέντρο), το οποίο λειτουργεί στα 350 मिलीवोल्ट και καταναλώνει ένα νανοβάτ ενέργειας. Ο Πάρβιτς πιστεύει ότι στο μέλλον, με την περαιτέρω βελτίωση της σχετικής τεχνολογίας, τα δέντρα θα μπορούν να τροφοδοτούν με ενέργεια ηλεκτρονικές συσκευές, που θα είναι πάνω στον κορμό τους και οι οποίες θα παρακολουθούν είτε την υγεία του ίδιου του φυτού είτε την κατάσταση του γύρω περιβάλλοντος. Καθώς οι φορητές ηλεκτρονικές συσκευές γίνονται όλο και πιο μικρές και λιγότερο απαιτητικές σε ενέργεια, ο Πάρβιτς οραματίζεται πιο τολμηρές χρήσεις στο μέλλον, του τύπου... βάλτε το κινητό στο δέντρο για φόρτιση! Μια άλλη ερευνητική ομάδα της αμερικανικής εταιρίας Voltree Power έχει ήδη κατοχυρώσει μια εμπορική πατέντα για ένα κύκλωμα που τροφοδοτείται με ηλεκτρισμό δέντρου. Η εταιρία ήδη χρησιμοποιεί αυτά τα κυκλώματα σε καινοτομικούς αισθητήρες που βρίσκονται πάνω σε δέντρα και καταγράφουν τη θερμοκρασία και την υγρασία των δασών. Φέτος η εταιρία δοκίμασε πιλοτικά ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που ανιχνεύουν δασικές πυρκαγιές. Μια άλλη αμερικανική επιστημονική ομάδα, υπό τον Μισέλ Μαχαρμπίζ του πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας-Μπέρκλεϊ, έδειξε πρόσφατα, με σχετικά πειράματα, ότι η διαδικασία της διαπνοής των φύλλων (εξάτμισης του νερού) μπορεί να δράσει ως μηχανική αντλία, συνεπώς μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

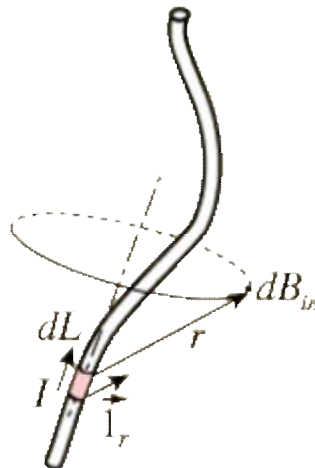
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

4.1 Γενικές Αρχές Ηλεκτρομαγνητισμού που διέπουν τη λειτουργία των μετασχηματιστών

4.1.1 Νόμος των BIOT-SAVART

Βασιζόμενοι στις πειραματικές τους μετρήσεις, οι Biot και Savart κατέληξαν σ' έναν εμπειρικό νόμο που εκφράζει το μαγνητικό πεδίο συναρτήσει του ρεύματος στο οποίο οφείλεται η δημιουργία του πεδίου αυτού. Ο νόμος των Biot-Savart ορίζει ότι εάν ένας αγωγός διαρρέεται από σταθερό ρεύμα I , τότε ένα στοιχειώδες τμήμα του σύρματος αυτού δημιουργεί σε ένα σημείο P , που βρίσκεται σε ορισμένη απόσταση από το σύρμα, ένα στοιχειώδες μαγνητικό πεδίο dB (Εικόνα 46) που έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:



Εικόνα 46: Μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από ρεύμα I σε στοιχειώδες τμήμα dL .

Το διάνυσμα dB είναι κάθετο στο διάνυσμα dL (που έχει την κατεύθυνση του ρεύματος), καθώς και στο μοναδιαίο διάνυσμα r που κατευθύνεται από το στοιχειώδες τμήμα dL προς το σημείο P .

- Το μέτρο του dB είναι αντιστρόφως ανάλογο προς το r , όπου r είναι η απόσταση του τμήματος dL από το σημείο P .
- Το μέτρο του dB είναι ανάλογο προς το ρεύμα I και προς το μήκος dL του στοιχείου.
- Το μέτρο του dB είναι ανάλογο προς το $\sin\theta$, όπου θ είναι η γωνία που περιέχεται ανάμεσα στα διανύσματα dL και r .

Επομένως ο νόμος των Biot και Savart δίνεται από την σχέση:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{I \times dL' \times \hat{r}}{r^2}$$

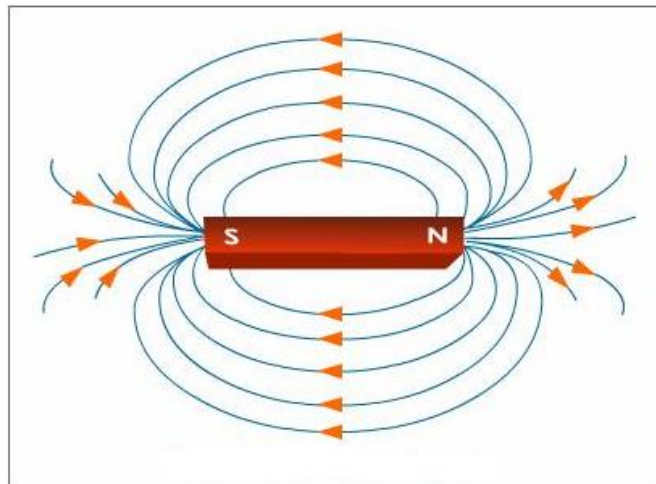
όπου $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Wb/A m) η μαγνητική διαπερατότητα του κενού.

Το ολικό μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται σ' ένα σημείο από ένα ρεύμα που ρέει μέσα σε έναν αγωγό πεπερασμένου μήκους, υπολογίζεται από το ολοκλήρωμα της σχέσης 1.1 πάνω σε ολόκληρο τον αγωγό, δηλαδή

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \times \oint \frac{dL' \times \hat{r}}{r^2}$$

4.1.2 Το μαγνητικό πεδίο

Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη του μαγνητικού πεδίου είναι η κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι αυτό που παράγει το μαγνητικό πεδίο. Αντίστοιχα, το μαγνητικό πεδίο των μόνιμων μαγνητών οφείλεται στις κινήσεις των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα του ατόμου και τον άξονά τους. Αυτές οι κινήσεις των ηλεκτρονίων ισοδυναμούν με στοιχειώδη ηλεκτρικά ρεύματα, τα οποία αναπτύσσουν στοιχειώδη μαγνητικά πεδία. Έτσι, κάθε άτομο οποιουδήποτε υλικού παράγει κάποιο μαγνητικό πεδίο και είναι ένας στοιχειώδης μαγνήτης με βόρειο και νότιο πόλο.



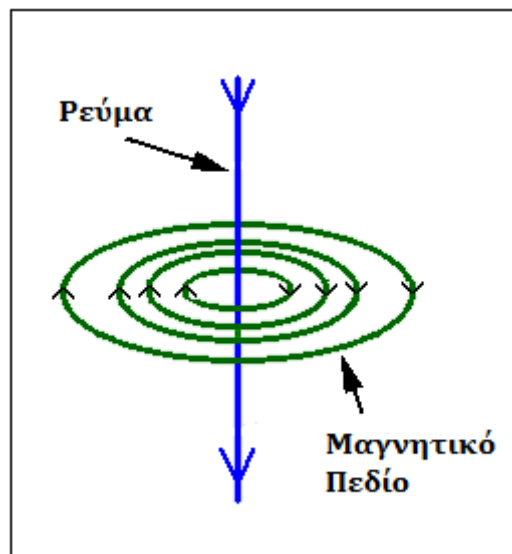
Εικόνα 47: Το μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη σε σχήμα ράβδου.

Στα σιδηρομαγνητικά υλικά, από τα οποία κατασκευάζονται οι μαγνήτες, τα μαγνητικά πεδία των ατόμων του υλικού είναι προσανατολισμένα μέσα σε πολύ μικρές περιοχές του υλικού. Αυτές

οι περιοχές ονομάζονται περιοχές *Weiss* και κάθε μια αποτελεί ένα μικροσκοπικό μαγνήτη. Όταν οι περιοχές *Weiss* του σιδηρομαγνητικού υλικού είναι προσανατολισμένες στην ίδια διεύθυνση, το υλικό έχει τα χαρακτηριστικά ενός μαγνήτη. Αν οι περιοχές *Weiss* είναι τυχαία προσανατολισμένες, τότε το υλικό δεν παρουσιάζει μακροσκοπικά μαγνητικό πεδίο και εμφανίζεται αμαγνήτιστο. Ένας ρευματοφόρος αγωγός ή ένας μαγνήτης δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, δηλαδή ένα χώρο γύρω του στον οποίο ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις. Η μορφή του μαγνητικού πεδίου παριστάνεται με τις *μαγνητικές ή δυναμικές γραμμές*.

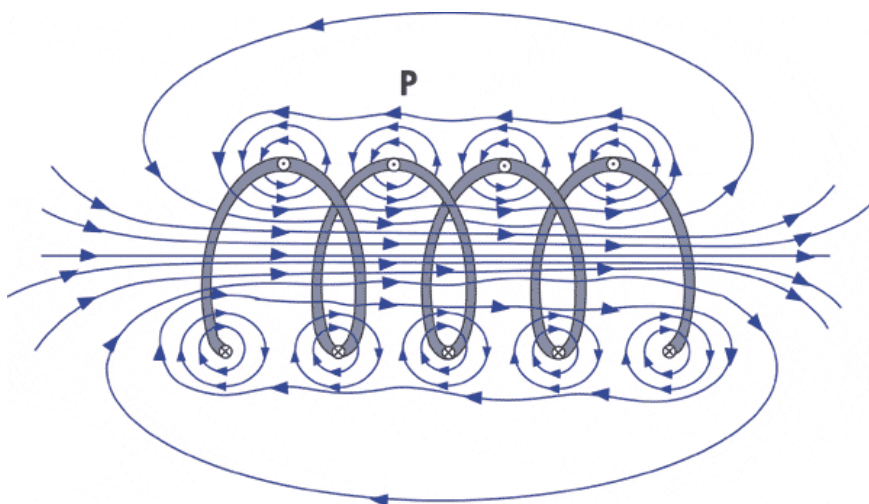
Στην εικόνα 47 εικονίζεται η μορφή του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από ένα μαγνήτη σε σχήμα ράβδου. Οι μαγνητικές γραμμές είναι κλειστές καμπύλες. Έχουν φορά από το βόρειο προς το νότιο πόλο του μαγνήτη και συνεχίζονται και στο εσωτερικό του μαγνήτη, με φορά από το νότιο προς το βόρειο πόλο, σχηματίζοντας κλειστές διαδρομές. Οι δυναμικές γραμμές, εκτός από τη φορά και τη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιούνται ακόμη στην παράσταση του μέτρου του (ένταση). Όσο πυκνότερες είναι οι μαγνητικές γραμμές, τόσο ισχυρότερο είναι το μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο, όπως εικονίζεται στο Σχήμα 1.2, είναι ισχυρότερο κοντά στους πόλους.

Στην εικόνα 48 παρουσιάζεται η μορφή του μαγνητικού πεδίου που αναπτύσσεται από ένα ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό. Οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου είναι ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο τον αγωγό, είναι κάθετες ως προς τον αγωγό, ενώ η φορά τους εξαρτάται από τη φορά του ρεύματος στον αγωγό. Αν στο Σχήμα 1.3 η φορά του ρεύματος αντιστραφεί, τότε θα αντιστραφεί και η φορά των δυναμικών γραμμών.



Εικόνα 48: Το μαγνητικό πεδίο του ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού.

Το μαγνητικό πεδίο ενός πηνίου με μεγάλο μήκος σε σχέση με τη διάμετρό του, εικονίζεται στην εικόνα 49. Παρατηρούμε ότι η μορφή του πεδίου είναι όμοια μ' εκείνη του ραβδόμορφου μαγνήτη. Το πεδίο στο εσωτερικό του πηνίου είναι ομοιόμορφο, δηλαδή οι μαγνητικές γραμμές είναι παράλληλες μεταξύ τους και ο αριθμός τους είναι σταθερός. Οι μαγνητικές γραμμές εξέρχονται από το ένα άκρο του πηνίου, το οποίο είναι ο βόρειος πόλος του. Το άκρο του πηνίου όπου εισέρχονται οι μαγνητικές γραμμές είναι ο νότιος πόλος. Το μαγνητικό πεδίο του πηνίου υφίσταται, όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η ροή του ρεύματος.



Εικόνα 49: Το μαγνητικό πεδίο του πηνίου μεγάλου μήκους.

4.1.3 Μεγέθη του μαγνητικού πεδίου

Θεωρούμε ένα πηνίο με N σπείρες, το οποίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα με ένταση I . Το πηνίο είναι τυλιγμένο γύρω από ένα σιδηρομαγνητικό υλικό, το οποίο αποτελεί τον πυρήνα του Σχήματος 1.5. Στην περίπτωση αυτή, το μαγνητικό πεδίο που αναπτύσσεται από το πηνίο περιορίζεται σχεδόν αποκλειστικά στο εσωτερικό του πυρήνα. Ο νόμος του Ampere ορίζει την ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του πυρήνα, σύμφωνα με τη σχέση:

$$H \gg I = N \gg I \quad (1)$$

Στην σχέση (1) με H συμβολίζεται το μέτρο ενός διανυσματικού μεγέθους, το οποίο ονομάζεται ένταση του μαγνητικού πεδίου H . Η διεύθυνση και η φορά της H ταυτίζονται με τη διεύθυνση και τη φορά των μαγνητικών γραμμών. Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του πυρήνα, από την σχέση (1), είναι:

$$H = \frac{N \cdot I}{l} \quad (2)$$

Ο αριθμητής στην σχέση (2) ονομάζεται *μαγνητεγερτική δύναμη F*. Μονάδα μέτρησης της μαγνητεγερτικής δύναμης (ΜΕΔ) είναι οι αμπεροστροφές [At]. Η μαγνητεγερτική δύναμη είναι αντίστοιχη της ηλεκτρεγερτικής δύναμης στον ηλεκτρισμό. Όπως η ηλεκτρεγερτική δύναμη προκαλεί την κυκλοφορία του ηλεκτρικού ρεύματος, έτσι και η ΜΕΔ είναι η αιτία για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου με ένταση H. Μονάδα μέτρησης της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι οι At/m. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου εκφράζει το έργο του καταβάλλει το ηλεκτρικό ρεύμα I για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του πυρήνα. Η “ισχύς” του παραγόμενου μαγνητικού πεδίου εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του πυρήνα και εκφράζεται από το διανυσματικό μέγεθος της *μαγνητικής επαγωγής B*. Η μαγνητική επαγωγή συνδέεται με την ένταση του μαγνητικού πεδίου με τη σχέση:

$$B = \mu \cdot H \quad (3)$$

Στην σχέση (3), με μ συμβολίζεται η *μαγνητική διαπερατότητα* του υλικού κατασκευής του πυρήνα. Η μαγνητική διαπερατότητα των υλικών εκφράζεται ως προς αυτή του κενού. Η μαγνητική διαπερατότητα του κενού μ_0 , είναι σταθερή και ίση με $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Wb/A·m).

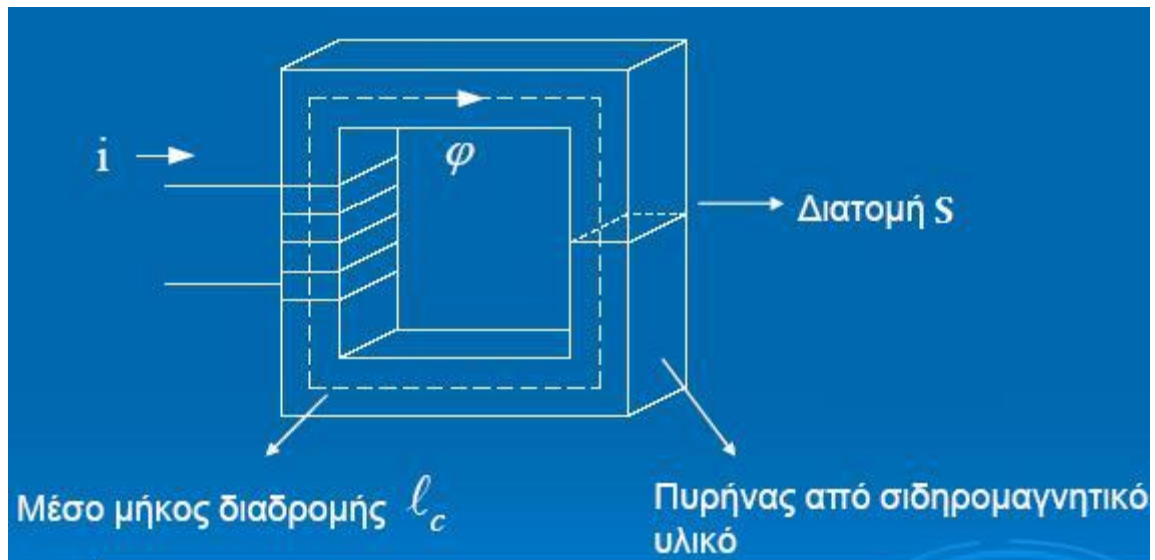
Η μαγνητική διαπερατότητα οποιουδήποτε υλικού μ , συνδέεται μ’ εκείνη του κενού μέσω της *σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας* μ_r .

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \quad (4)$$

Μονάδα μέτρησης της μαγνητικής επαγωγής είναι το *Tesla* [T].

Η μαγνητική επαγωγή εκφράζει τον αριθμό των μαγνητικών γραμμών που περνούν κάθετα από μια επιφάνεια 1m^2 . Ο ολικός αριθμός των μαγνητικών γραμμών που περνά από μια επιφάνεια S, εκφράζεται από το μέγεθος της *μαγνητικής ροής* Φ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Phi = \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (5)$$



Εικόνα 50: Μαγνητική ροή Φ μέσα σε έναν πυρήνα διατομής S και μήκους ℓ

Αν το μέτρο της μαγνητικής επαγωγής είναι σταθερό σ' όλη την επιφάνεια S και το διάνυσμά της είναι κάθετο στην επιφάνεια, η σχέση (5) απλοποιείται στην παρακάτω μορφή:

$$F = B \cdot S \quad (6)$$

Η σχέση (6) ισχύει στη διάταξη της εικόνας 50. Επομένως, η μαγνητική ροή που προκαλεί το ρεύμα I στον πυρήνα με διατομή S και μέσο μήκος ℓ , είναι ίση με

$$F = m \times \frac{N \cdot I \cdot S}{\ell}$$

Μονάδα μέτρησης της μαγνητικής ροής είναι το Wb ή ισοδύναμα το Vs.

4.1.4 Μαγνητική αντίσταση-Μαγνητικό κύκλωμα

Στην εικόνα 50, όταν το πηνίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα με ένταση I , δημιουργείται στον πυρήνα ένα μαγνητικό πεδίο με μαγνητική ροή Φ και την εικονιζόμενη φορά. Την φορά της ροής μπορούμε να τη βρούμε με τον κανόνα του δεξιού χεριού. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό, ο αντίχειρας του δεξιού μας χεριού δείχνει προς την κατεύθυνση του ρεύματος, ενώ τα υπόλοιπα δάχτυλα υποθέτοντας ότι έχουν τυλίξει το πηνίο, δείχνουν την φορά της ροής Φ . Το μέτρο της μαγνητικής ροής από την σχέση γράφεται στη μορφή

$$F = m \times \frac{NI}{\frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi} \frac{l}{S}}$$

Ο παρονομαστής στην σχέση (1.11) εξαρτάται αποκλειστικά από τις διαστάσεις και το υλικό του πυρήνα και ονομάζεται *μαγνητική αντίσταση* R_m . Επομένως, η μαγνητική αντίσταση είναι ίση με:

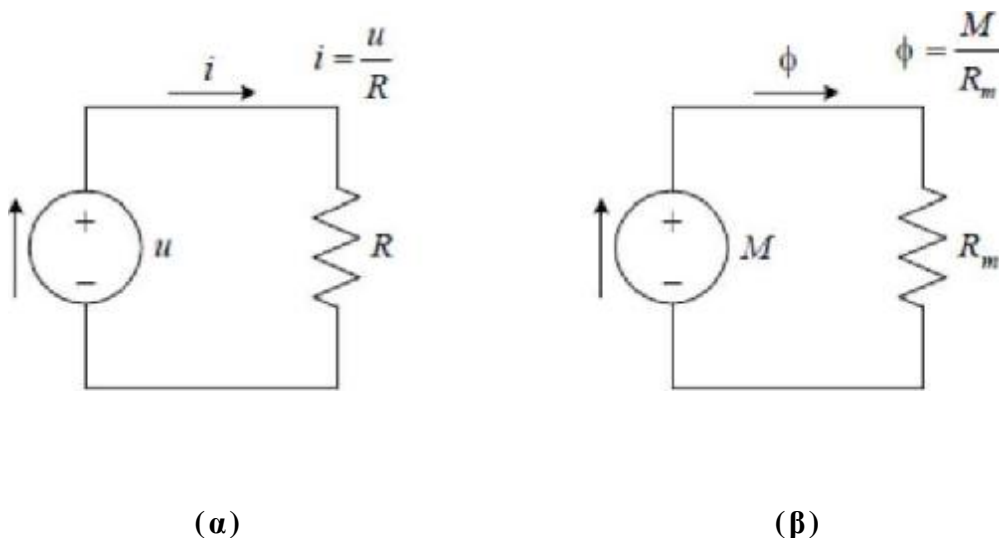
$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$

και η μαγνητική ροή εκφράζεται από τη σχέση

$$F = m \times \frac{NI}{R_m}$$

Η ροή του ρεύματος είναι το αποτέλεσμα της ηλεκτρεγερτικής δύναμης και η μεταξύ τους σχέση ορίζεται από το νόμο του Ohm

$$I = \frac{V}{R}$$



Εικόνα 51:(α) Ηλεκτρικό κύκλωμα, (β) Ισοδύναμο μαγνητικό κύκλωμα του πηνίου με πυρήνα της εικόνας 49

Στην εικόνα 51(β) εικονίζεται το ισοδύναμο μαγνητικό κύκλωμα του πηνίου με σιδηροπυρήνα της εικόνας 50. Η μαγνητική ροή Φ θεωρείται ως ένα μαγνητικό ρεύμα, το οποίο ρέει στον πυρήνα υπερνικώντας τη μαγνητική του αντίσταση R_m . Η μαγνητική ροή προκαλείται από τη μαγνητεγερτική δύναμη, η οποία είναι αντίστοιχη της ηλεκτρεγερτικής δύναμης στα ηλεκτρικά κυκλώματα.

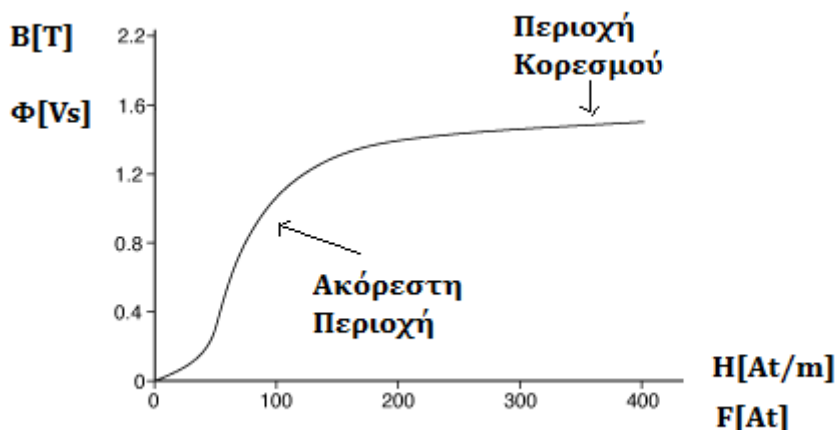
Επομένως, η σχέση $F = m \times \frac{NI}{R_m}$ αποτελεί το νόμο του Ohm στα μαγνητικά κυκλώματα. Στα ηλεκτρικά κυκλώματα ορίζεται η αγωγιμότητα ως το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης. Αντίστοιχα, στα μαγνητικά κυκλώματα ορίζεται η *μαγνητική αγωγιμότητα*, ως το αντίστροφο της μαγνητικής αντίστασης.

4.1.5 Καμπύλη μαγνήτισης

Τα υλικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη μαγνητική τους συμπεριφορά: σε *διαμαγνητικά*, *παραμαγνητικά* και *σιδηρομαγνητικά*. Τα διαμαγνητικά υλικά έχουν σχετική μαγνητική διαπερατότητα ελάχιστα μικρότερη της μονάδος. Η μαγνητική διαπερατότητα των παραμαγνητικών υλικών είναι ελάχιστα μεγαλύτερη της μονάδος. Τα σιδηρομαγνητικά υλικά έχουν σχετική μαγνητική διαπερατότητα πολύ μεγαλύτερη της μονάδος. Τα σιδηρομαγνητικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλεκτρικών μηχανών έχουν μ_r στην περιοχή από 2000 έως 6000. Επομένως, για ορισμένη μαγνητεγερτική δύναμη, η *μαγνητική ροή που αναπτύσσεται σ' ένα σιδηρομαγνητικό υλικό είναι πολλαπλάσια της ροής που παράγεται στον αέρα*. Επειδή η τάση που παράγει μια γεννήτρια ή αντίστοιχα η ροπή που αναπτύσσει ένας κινητήρας εξαρτώνται από το μέγεθος της μαγνητικής ροής, οι ηλεκτρικές μηχανές κατασκευάζονται από σιδηρομαγνητικά υλικά με υψηλό μ_r .

Στην εικόνα 50 έχουμε θεωρήσει ότι η μαγνητική ροή είναι συγκεντρωμένη στον πυρήνα, επειδή η μαγνητική διαπερατότητα του πυρήνα είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του αέρα. Επομένως, η μαγνητική αντίσταση του πυρήνα είναι πολύ μικρότερη της αντίστασης του αέρα. Η μαγνητική διαπερατότητα του αέρα είναι περίπου ίση μ' εκείνη του κενού ($\mu_{air} \sim 1$). Βέβαια, ένα πολύ μικρό τμήμα της ροής δεν ρέει στον πυρήνα, αλλά κυκλοφορεί μέσω του αέρα. Αυτή η ροή ονομάζεται *ροή σκέδασης* Φ_σ .

Η μαγνητική διαπερατότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών δεν είναι σταθερή. Εξαρτάται έντονα από το μέγεθος της μαγνητικής ροής. Για να διευκρινίσουμε τη μεταβολή της μαγνητικής διαπερατότητας θεωρούμε ότι, ο πυρήνας του Σχήματος 1.5 είναι αρχικά απομαγνητισμένος και ότι μεταβάλλουμε το συνεχές ρεύμα στο πηνίο από το μηδέν μέχρι μια μέγιστη τιμή. Αν σχεδιάσουμε σ' ένα διάγραμμα τη μεταβολή της παραγόμενης στον πυρήνα μαγνητικής ροής Φ , ως προς την επιβαλλόμενη μαγνητεγερτική δύναμη $F=NI$, προκύπτει η καμπύλη του Σχήματος 1.7. Η καμπύλη αυτή ονομάζεται *καμπύλη μαγνήτισης* του σιδηρομαγνητικού υλικού.



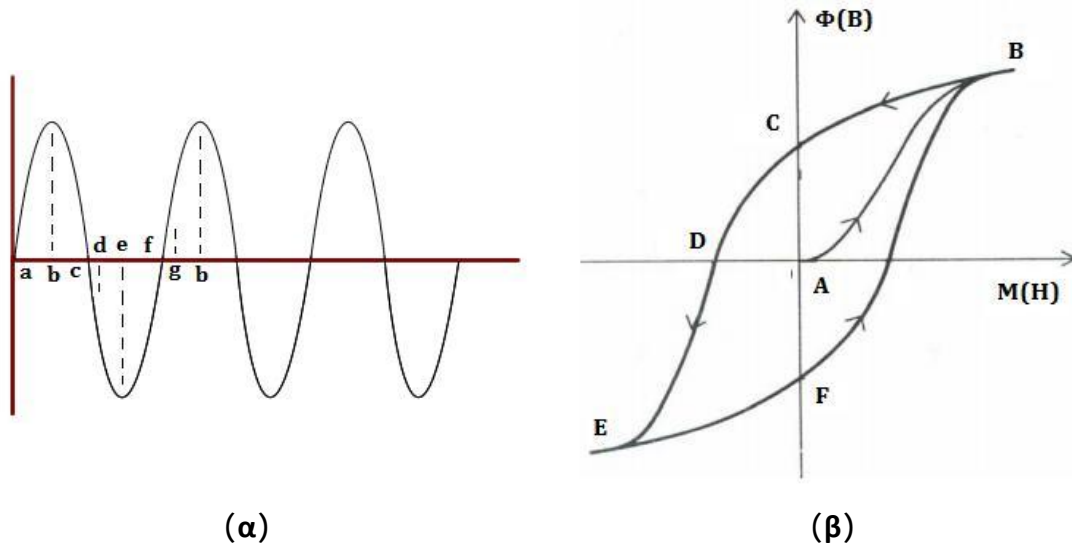
Εικόνα 52: Τυπική καμπύλη μαγνήτισης των σιδηρομαγνητικών υλικών.

Από την καμπύλη μαγνήτισης παρατηρούμε ότι η μαγνητική ροή αυξάνει αρχικά αργά με το ρεύμα. Κατόπιν, έχουμε μια σχεδόν γραμμική μεταβολή της ροής. Στη συνέχεια η μεταβολή της μαγνητικής ροής ως προς τη μαγνητεγερτική δύναμη περιορίζεται σταδιακά και τελικά πέρα από κάποια τιμή της μαγνητεγερτικής δύναμης η ροή παραμένει σχεδόν αμετάβλητη. Η περιοχή όπου η καμπύλη τείνει να γίνει οριζόντια ονομάζεται *περιοχή κορεσμού*. Στην περιοχή κορεσμού η μαγνητική ροή έχει φθάσει τη μέγιστη τιμή της και μεταβάλλεται ελάχιστα με την επιβαλλόμενη μαγνητεγερτική δύναμη. Η γραμμική περιοχή της καμπύλης ονομάζεται *ακόρεστη περιοχή*. Στην ακόρεστη περιοχή η ροή μεταβάλλεται γραμμικά με τη μαγνητεγερτική δύναμη. Η περιοχή μετάβασης από τη γραμμική περιοχή στην περιοχή κορεσμού, ονομάζεται *γόνατο* της καμπύλης. Οι μετασχηματιστές επιθυμούμε να λειτουργούν στη γραμμική περιοχή, πράγμα το οποίο μπορεί να επιτευχθεί ρυθμίζοντας-όπως θα δούμε και παρακάτω-κάποια κατασκευαστικά στοιχεία (διατομή πυρήνα για παράδειγμα).

4.1.6 Βρόχος Υστέρησης

Στην εικόνα 50 θεωρούμε ότι ο πυρήνας είναι αρχικά απομαγνητισμένος και ότι το πηνίο τροφοδοτείται από εναλλασσόμενο ρεύμα (Σχήμα 1.8.α). Όταν το ρεύμα μεταβάλλεται στην περιοχή ab, λαμβάνουμε την καμπύλη μαγνήτισης του υλικού AB. Καθώς το ρεύμα μειώνεται, στο τμήμα bc, η μαγνητική ροή δεν ακολουθεί την καμπύλη μαγνήτισης. Η μεταβολή της ροής BC, είναι διαφορετική από εκείνη κατά την αύξηση του ρεύματος ab. Στο τμήμα bc του ρεύματος, ο πυρήνας απομαγνητίζεται. Στο σημείο c, όπου το ρεύμα και η μαγνητεγερτική δύναμη μηδενίζονται, η μαγνητική ροή δεν είναι μηδέν αλλά έχει μια τιμή C. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *μαγνητική υστέρηση*. Η μαγνητική ροή στο σημείο C ονομάζεται *παραμένουσα ροή*. Το μέγεθος της παραμένουσας ροής

εξαρτάται από το είδος του σιδηρομαγνητικού υλικού. Στα υλικά κατασκευής των ηλεκτρικών μηχανών ο παραμένον μαγνητισμός είναι 2-3% της ονομαστικής τιμής. Αντίθετα, στην κατασκευή των τεχνητών μόνιμων μαγνητών χρησιμοποιούνται σιδηρομαγνητικά υλικά, με υψηλό παραμένον μαγνητισμό.



**Εικόνα 53: (α) Εναλλασσόμενο ρεύμα στο πηνίο της εικόνας 50
(β) Τυπικός βρόχος υστέρησης του πυρήνα.**

Για να απομαγνητίσουμε τον πυρήνα, δηλαδή για το μηδενισμό της ροής, πρέπει να αντιστραφεί η πολικότητα του ρεύματος, άρα και της μαγνητεγερτικής δύναμης. Η μαγνητεγερτική δύναμη που απομαγνητίζει τον πυρήνα D και η οποία αντιστοιχεί στο ρεύμα d, ονομάζεται *απομαγνητίζουσα δύναμη*.

Ο πυρήνας μαγνητίζεται κατά την αντίθετη φορά καθώς το ρεύμα αυξάνεται σε αρνητικές τιμές, μέχρι την τιμή E, η οποία αντιστοιχεί στην περιοχή κορεσμού. Το σημείο E είναι συμμετρικό ως προς το B. Το ρεύμα μειώνεται προς το μηδέν στο τμήμα ef και μαζί του ελαττώνεται η μαγνητική ροή. Η παραμένουσα αρνητική μαγνητική ροή F μηδενίζεται, όταν το ρεύμα λάβει τη θετική τιμή g. Στο σημείο b του ρεύματος, η ροή έχει λάβει ξανά τη μέγιστη θετική τιμή της B. Έτσι ολοκληρώνεται ο *βρόχος υστέρησης* του πυρήνα, καμπύλη BCDEFGB.

Ο κορεσμός των σιδηρομαγνητικών υλικών οφείλεται στον πλήρη προσανατολισμό των περιοχών Weiss, όταν η μαγνητεγερτική δύναμη έχει υψηλή τιμή. Οι αρχικά τυχαία προσανατολισμένες περιοχές Weiss του υλικού, έχουν την τάση να ακολουθούν τη διεύθυνση και τη φορά του εξωτερικά επιβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου. Αυτός είναι ο λόγος που τα σιδηρομαγνητικά υλικά έχουν πολύ μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα. Όταν όλες οι περιοχές Weiss προσανατολιστούν στο επιβαλλόμενο πεδίο, κάθε παραπέρα αύξηση της μαγνητεγερτικής δύναμης προκαλεί μια ασήμαντη αύξηση της

ροής, όση θα είχαμε στον αέρα (κορεσμός).

Με την απομάκρυνση της επιβαλλόμενης μαγνητεγερτικής δύναμης, οι περιοχές *Weiss* δεν ξαναπαίρνουν τις αρχικές τυχαίες κατευθύνσεις τους. Έτσι, το υλικό παραμένει μαγνητισμένο, δηλαδή γίνεται μόνιμος μαγνήτης. Για την πλήρη απομαγνήτιση του υλικού πρέπει να εφαρμοστεί μια μαγνητεγερτική δύναμη με την αντίθετη φορά. Επομένως, πρέπει να προσφερθεί στο υλικό ενέργεια για την απομαγνήτιση του, όπως έγινε και κατά τη διαδικασία της μαγνήτισης. Όσο μεγαλύτερη είναι η παραμένουσα ροή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που απαιτείται για την απομαγνήτιση του υλικού (συνεκτική δύναμη). Η ενέργεια της απομαγνήτισης, εκτός από τη μαγνητεγερτική δύναμη, μπορεί να έχει τη μορφή θερμότητας ή μηχανικού χτυπήματος.

Η απαίτηση παροχής ενέργειας στα σιδηρομαγνητικά υλικά για την απομαγνήτισή τους, προκαλεί τις *απώλειες υστέρησης*. Οι απώλειες υστέρησης ενός υλικού εξαρτώνται από το εμβαδόν του βρόχου υστέρησης. Όσο μικρότερο είναι το εμβαδόν του βρόχου υστέρησης, δηλαδή όσο μικρότερες είναι οι τιμές της παραμένουσας ροής και της συνεκτικής δύναμης, τόσο μικρότερες είναι οι απώλειες υστέρησης.

Οι απώλειες υστέρησης μαζί με τις απώλειες εξαιτίας των δινορευμάτων, προκαλούν τη θέρμανση του πυρήνα. Οι απώλειες υστέρησης και δινορευμάτων ονομάζονται μαζί *απώλειες σιδήρου ή πυρήνα*.

4.1.7 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής ανακαλύφθηκε και διατυπώθηκε μαθηματικά από τον Faraday το 1831. Στο φαινόμενο αυτό στηρίζεται η λειτουργία όλων των ηλεκτρικών μηχανών. Σύμφωνα με το νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, ή νόμο του *Faraday*, όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από ένα πλαίσιο, επάγεται στα άκρα του πλαισίου μια ηλεκτρεγερτική δύναμη, η οποία είναι ανάλογη με την ταχύτητα μεταβολής της μαγνητικής ροής:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Στην παραπάνω σχέση, N είναι ο αριθμός των σπειρών του πλαισίου (πηνίου) και Φ η μαγνητική ροή που διέρχεται απ' αυτές. Στην ανάλυση των ηλεκτρικών μηχανών και των μετασχηματιστών, η σχέση (1.15) γράφεται στη μορφή:

$$e = - \frac{dI}{dt}$$

όπου, λ είναι η *πεπλεγμένη ροή*. Η πεπλεγμένη ροή ορίζεται από τη σχέση:

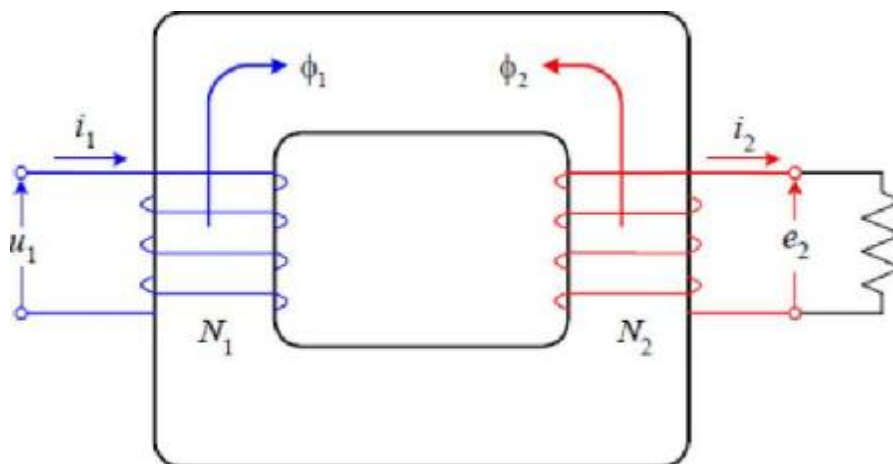
$$I = N \times \Phi$$

όταν η ίδια ροή διέρχεται από όλες τις σπείρες του πλαισίου, ή από τη σχέση:

$$I = \sum_{j=1}^N \Phi_j$$

όταν η ροή σε κάθε σπείρα είναι διαφορετική.

Το αρνητικό πρόσημο οφείλεται στο νόμο του *Lenz*. Σύμφωνα με τον οποίο, η πολικότητα της επαγόμενης τάσης στο πλαίσιο είναι τέτοια ώστε, εάν τα άκρα του πλαισίου τροφοδοτούν ένα φορτίο το ρεύμα που θα κυκλοφορήσει θα παράγει ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο να αντιτίθεται στο αίτιο που το προκάλεσε. Το ρεύμα στο πλαίσιο ονομάζεται *επαγωγικό ρεύμα*. Ο προσδιορισμός της φοράς του επαγωγικού ρεύματος γίνεται φανερός από τη διάταξη της εικόνας



54, η οποία είναι ένας μετασχηματιστής.

Εικόνα 54: Αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή, σύμφωνα με τους νόμους του Faraday και Lenz

Το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή N_1 διαρρέεται από το ρεύμα i_1 και προκαλεί τη ροή Φ_1 στον πυρήνα. Η ροή Φ_1 διέρχεται από τις σπείρες του δευτερεύοντος τυλίγματος N_2 , με αποτέλεσμα την ανάπτυξη της τάσης από επαγωγή e_2 . Όταν το δευτερεύον τύλιγμα είναι κλειστό, μέσω της αντίστασης φορτίου K , το επαγωγικό ρεύμα i_2 έχει τη σημειωμένη φορά. Το ρεύμα i_2 προκαλεί τη μαγνητική ροή Φ_2 , με φορά αντίθετη της Φ_1 , η οποία το προκάλεσε.

4.2 Γενικά για τον μετασχηματιστή

Ο μετασχηματιστής είναι μια συσκευή η οποία μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια μεταξύ δύο κυκλωμάτων, διαμέσου επαγωγικά συζευγμένων ηλεκτρικών αγωγών. Οι μετασχηματιστές είναι ανάμεσα στις πιο αποδοτικές ηλεκτρικές μηχανές, με κάποιες μεγάλες μονάδες να αποδίδουν έως και το 99.75% της ισχύος εισόδου τους στην έξοδό τους. Οι μετασχηματιστές κατασκευάζονται σε ευρεία γκάμα μεγεθών, που κυμαίνονται από μέγεθος νυχιού (όπως αυτοί που βρίσκονται μέσα σε ένα μικρόφωνο) έως τεράστιες μονάδες με βάρος εκατοντάδων τόνων που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση τμημάτων των εθνικών δικτύων ηλεκτροδότησης. Όλοι λειτουργούν με βάση τις ίδιες αρχές, αν και υπάρχει πληθώρα διαφορετικών υλοποιήσεων.

Ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στο πρώτο κύκλωμα (το "πρωτεύον") δημιουργεί ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο επάγει μεταβαλλόμενη τάση στο δεύτερο κύκλωμα (το "δευτερεύον"). Το φαινόμενο αυτό καλείται αμοιβαία επαγωγή.

Αν ένας ηλεκτρικός καταναλωτής είναι συνδεδεμένος στο δευτερεύον κύκλωμα, τότε θα υπάρξει ροή ηλεκτρικού φορτίου στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή. Αυτό το φορτίο θα μεταφέρει ενέργεια από το πρωτεύον κύκλωμα, στον καταναλωτή που είναι συνδεδεμένος στο δευτερεύον κύκλωμα.

Η επαγόμενη τάση V_S στο δευτερεύον ενός ιδανικού μετασχηματιστή, είναι ανάλογη της τάσης V_P στο πρωτεύον κατά ένα συντελεστή ίσο με το λόγο του αριθμού N των περιελίξεων του σύρματος στα αντίστοιχα τυλίγματα:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Οι δείκτες S,P προέρχονται από τις αγγλικές λέξεις secondary, primary, οι οποίες σημαίνουν αντίστοιχα δευτερεύον και πρωτεύον.

Με κατάλληλη επιλογή του αριθμού των περιελίξεων, ένας μετασχηματιστής επιτρέπει την ανύψωση μιας εναλλασσόμενης τάσης (αν $N_S > N_P$) ή τον υποβιβασμό της (αν $N_S < N_P$).

4.2.1 Αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή

Η αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή διατυπώθηκε το 1831 από τον Μάικλ Φαραντέι, αν και την χρησιμοποίησε μόνο για επίδειξη των αρχών της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, χωρίς να προβλέψει την πρακτική της σημασία. Ο πρώτος μετασχηματιστής σε ευρεία χρήση ήταν το πηνίο επαγωγής, το οποίο εφηύρε ο Ιρλανδός κληρικός Νίκολας Κάλαν το 1836. Ήταν ένας από τους πρώτους που κατάλαβαν την αρχή πως όσο περισσότερες περιελίξεις έχει το τύλιγμα ενός μετασχηματιστή, τόσο μεγαλύτερη ηλεκτρεγερτική δύναμη παράγει. Τα πηνία επαγωγής δημιουργήθηκαν από τις προσπάθειες των επιστημόνων για παροχή υψηλότερων τάσεων από μπαταρίες. Δεν τροφοδοτούνταν από εναλλασσόμενο ρεύμα, αλλά από συνεχές, προερχόμενο από μπαταρίες, το οποίο διακόπτονταν από ένα δονούμενο διακοπτικό μηχανισμό. Μεταξύ 1830-1870 οι προσπάθειες για δημιουργία καλύτερων επαγωγικών πηνίων, κυρίως με τη μέθοδο της συνεχούς δοκιμής (trial and error), αποκάλυψαν σταδιακά τις βασικές αρχές της λειτουργίας του μετασχηματιστή. Αποδοτικοί σχεδιασμοί δεν ανακαλύφθηκαν παρά μετά το 1880, όμως μέσα σε λιγότερο από μια δεκαετία, ο μετασχηματιστής αποδείχτηκε ουσιώδης στην επικράτηση των συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος έναντι αυτών του συνεχούς, θέση την οποία κρατούν μέχρι και σήμερα.

Ο Ρώσος μηχανικός Πάβελ Γιαμπλότσκοφ εφηύρε το 1876 ένα σύστημα φωτισμού, βασισμένο σε ένα σύνολο από πηνία επαγωγής, όπου τα πρωτεύοντα τυλίγματα ήταν συνδεδεμένα σε πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ τα δευτερεύοντα μπορούσαν να συνδεθούν σε αρκετά "κεριά Γιαμπλότσκοφ" (είδος ηλεκτρικού λαμπτήρα τόξου). Στην πατέντα ισχυριζόταν ότι το σύστημα μπορούσε να "παρέχει ανεξάρτητα ισχύ σε διάφορους λαμπτήρες, με διαφορετική ισχύ φωτεινότητας, από μία πηγή ηλεκτρικής ισχύος". Προφανώς, το πηνίο επαγωγής σε αυτό το σύστημα λειτουργούσε ως μετασχηματιστής.

Οι Λουσιέν Γκολάρ και Τζον Ντίξον Γκιμπς επέδειξαν πρώτοι το 1882 στο Λονδίνο μια συσκευή με ανοιχτό πυρήνα σιδήρου που αποκαλούσαν "δευτερεύουσα γεννήτρια", ιδέα που πούλησαν στη συνέχεια στην αμερικανική εταιρεία Ουέστινγκχαους. Την ίδια συσκευή επέδειξαν και το 1884 στο Τορίνο, όπου υιοθετήθηκε για ένα ηλεκτρικό σύστημα φωτισμού.

Οι Ούγγροι μηχανικοί Κάρολι Ζιπερνόφσκι, Όττο Μπλάθι και Μίτσα Ντέρι, από την εταιρεία Γκαντζ στην Βουδαπέστη δημιούργησαν το αποδοτικό μοντέλο κλειστού πυρήνα "ZBD" το 1885, βασισμένοι σε ένα σχέδιο των Γκολάρ και Γκιμπς.

Ένας φυσικός της Ουέστινγκχαους, ο Ουίλλιαμ Στάνλεϊ, δημιούργησε την πρώτη εμπορική υλοποίηση μετασχηματιστή το 1885, μετά την

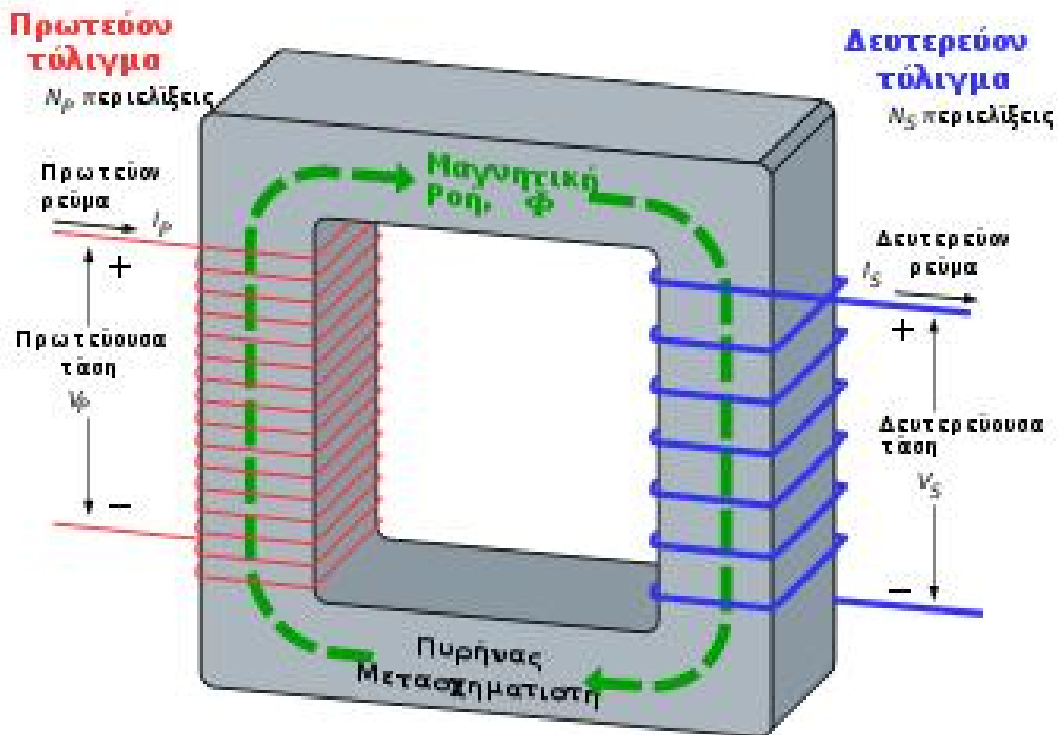
αγορά από τον Τζορτζ Ουέστινγκχαους των πατεντών των Γκολάρ και Γκιμπς. Ο πυρήνας ήταν κατασκευασμένος από πλάκες σιδήρου σχήματος "E", οι οποίες έμπαιναν η μία μέσα στην άλλη. Αυτό το σχέδιο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο εμπόριο το 1886. Η αίτηση ευρεσιτεχνίας έκανε για πρώτη φορά αναφορά στη λέξη "μετασχηματιστής". Ο Ρώσος μηχανικός Μικαΐλ Ντόλιβο-Ντομπροβόλσκι ανέπτυξε τον πρώτο τριφασικό μετασχηματιστή το 1889. Το 1891 ο Νικόλα Τέσλα εφηύρε το πηνίο Τέσλα, ένα μετασχηματιστή συντονισμού με πυρήνα αέρα, για την παραγωγή πολύ υψηλών τάσεων σε υψηλές συχνότητες. Μετασχηματιστές ακουστών συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκαν για τα πρώτα πειράματα της ανάπτυξης του τηλεφώνου.

Παρότι νέες τεχνολογίες έχουν καταστήσει τους μετασχηματιστές παρωχημένους για ορισμένες ηλεκτρονικές εφαρμογές, μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται ακόμα σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές. Οι μετασχηματιστές είναι επίσης βασικοί στην μετάδοση ρευμάτων υψηλής τάσης, τεχνική που κάνει οικονομικά βιώσιμη τη μετάδοση ηλεκτρικής ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις.

4.2.2 Βασικές αρχές

Ο μετασχηματιστής βασίζεται σε δύο αρχές: πρώτον, ότι ένα ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να παράγει ένα μαγνητικό πεδίο (ηλεκτρομαγνητισμός) και, δεύτερον, ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο σε ένα τυλιγμένο σύρμα ("τύλιγμα"), επάγει διαφορά δυναμικού στα άκρα του τυλίγματος (ηλεκτρομαγνητική επαγωγή). Μεταβάλλοντας το ρεύμα στο πρωτεύον τύλιγμα, αλλάζει η ένταση του μαγνητικού του πεδίου. Εφόσον το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο εκτείνεται και στο δευτερεύον τύλιγμα, επάγεται διαφορά δυναμικού στα άκρα του δευτερεύοντος.

Στην εικόνα 55 φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα μετασχηματιστή. Ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσα από το πρωτεύον τύλιγμα δημιουργώντας μαγνητικό πεδίο. Τόσο το πρωτεύον όσο και το δευτερεύον τύλιγμα περιελίσσονται γύρω από ένα μαγνητικό πυρήνα πολύ υψηλής μαγνητικής διαπερατότητας, π.χ. από σίδηρο. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι όσο το δυνατόν περισσότερες γραμμές του μαγνητικού πεδίου που παράγει το πρωτεύον ρεύμα, βρίσκονται εντός του πυρήνα και περνούν τόσο από το πρωτεύον όσο και το δευτερεύον τύλιγμα.



Εικόνα 55: Ένας ιδανικός μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης με επισημασμένη την μαγνητική ροή στον πυρήνα του

4.2.3 Νόμος επαγωγής

Το δυναμικό που επάγεται στα άκρα του δευτερεύοντος μπορεί να υπολογιστεί από το νόμο της επαγωγής του Φάραντεϊ, ο οποίος δηλώνει πως:

$$V_s = N_s \frac{d\Phi}{dt}$$

όπου V_s είναι η στιγμιαία τάση, N_s είναι ο αριθμός των περιελίξεων (στροφών) στο δευτερεύον και Φ η μαγνητική ροή σε μία περιέλιξη του τυλίγματος. Αν οι στροφές του τυλίγματος είναι προσανατολισμένες κάθετα προς τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου, η ροή είναι το γινόμενο της έντασης B του μαγνητικού πεδίου και της επιφάνειας A μέσα από την οποία διέρχεται. Η επιφάνεια είναι σταθερή και ίση με την διατομή του πυρήνα του μετασχηματιστή, ενώ το μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται με το χρόνο, ανάλογα με την διέγερση του πρωτεύοντος.

Καθώς σε έναν ιδανικό μετασχηματιστή η ροή που περνά μέσα τόσο από το πρωτεύον όσο και από το δευτερεύον είναι ίδια, η στιγμιαία τάση στα άκρα του πρωτεύοντος τυλίγματος ισούται με:

$$V_P = N_P \frac{d\Phi}{dt}$$

Αν διαιρέσουμε τις δύο πιο πάνω σχέσεις κατά μέλη, παίρνουμε την βασική εξίσωση για την ανύψωση ή τον υποβιβασμό της τάσης:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

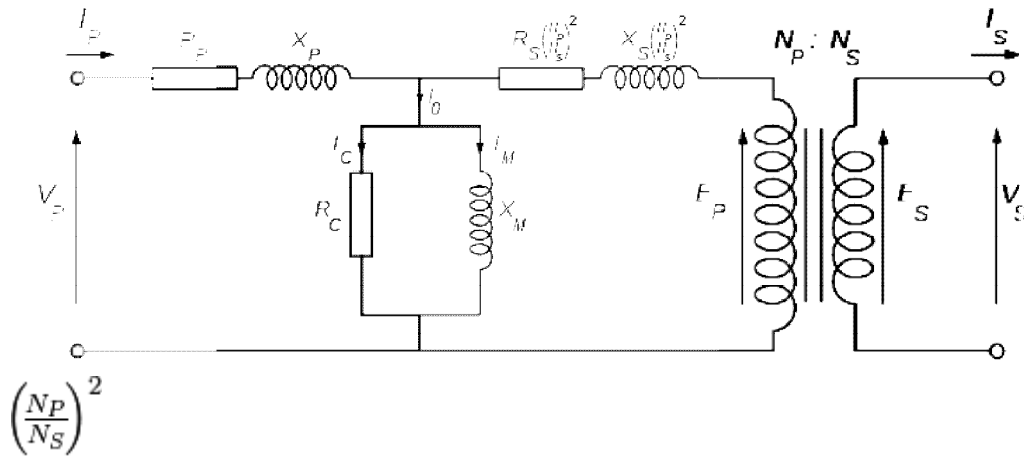
4.2.4 Ισοδύναμο κύκλωμα

Οι φυσικοί περιορισμοί των πραγματικών μετασχηματιστών μπορούν να συνοψιστούν σε ένα μοντέλο ισοδύναμου κυκλώματος, το οποίο "χτίζεται" γύρω από το μοντέλο του ιδανικού, χωρίς απώλειες, μετασχηματιστή. Η απώλεια ισχύος στα τυλίγματα εξαρτάται από το ρεύμα και αναπαρίσταται με τις σε σειρά συνδεδεμένες αντιστάσεις R_P και R_S . Η απώλεια ροής οδηγεί στην πτώση κλάσματος της εφαρμοζόμενης τάσης, πτώση η οποία δεν συνεισφέρει στην αμοιβαία σύζευξη και, κατά συνέπεια, μπορεί να μοντελοποιηθεί με τις επαγωγικές αντιδράσεις X_P και X_S , συνδεδεμένες σε σειρά με την τέλεια συζευγμένη περιοχή.

Οι απώλειες του πυρήνα οφείλονται κυρίως στην υστέρηση και στις επιπτώσεις των δινορευμάτων στον πυρήνα, ενώ είναι ανάλογα του τετραγώνου της ροής του πυρήνα για λειτουργία σε συγκεκριμένη συχνότητα. Καθώς η ροή στον πυρήνα είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης, οι απώλειές του μπορούν να εκφραστούν με μια αντίσταση R_C τοποθετημένη παράλληλα με τον ιδανικό μετασχηματιστή.

Ένας πυρήνας με πεπερασμένη διαπερατότητα απαιτεί ένα ρεύμα μαγνητισμού I_M για να διατηρήσει την αμοιβαία ροή σε αυτόν. Το ρεύμα μαγνητισμού είναι συμφασικό με τη ροή. Φαινόμενα κορεσμού οδηγούν στην μη γραμμικότητα της σχέσης μεταξύ των δύο, για λόγους απλότητας όμως αυτό το φαινόμενο τείνει να αγνοείται στα περισσότερα ισοδύναμα κυκλώματα. Με ένα ημιτονοειδές τροφοδοτικό, η ροή του πυρήνα υστερεί της επαγόμενης ΗΕΔ κατά 90° και αυτό το φαινόμενο μπορεί να μοντελοποιηθεί ως αντίδραση μαγνητισμού X_M παράλληλα με το στοιχείο απώλειας του πυρήνα. Οι R_C και X_M μερικές φορές αναφέρονται από κοινού ως ο "κλάδος μαγνητισμού" του μοντέλου. Αν το δευτερεύον είναι ανοιχτοκυκλωμένο, το ρεύμα I_0 που λαμβάνουμε στον κλάδο μαγνητισμού, αναπαριστά το ρεύμα κενού φορτίου του μετασχηματιστή.

Η δευτερεύουσα σύνθετη αντίσταση R_S και X_S συχνά ανάγεται στην πλευρά του πρωτεύοντος, αφού πολλαπλασιαστεί με τον τελεστή



Εικόνα 56: Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή, με τις δευτερεύουσες σύνθετες αντιστάσεις ανηγμένες στην πλευρά του πρωτεύοντος

Η ανάλυση μπορεί να απλοποιηθεί περαιτέρω μεταφέροντας τον κλάδο μαγνητισμού στα αριστερά της σύνθετης αντίστασης του πρωτεύοντος, μια έμμεση παραδοχή ότι το ρεύμα μαγνητισμού είναι χαμηλό, και με την άθροιση στη συνέχεια των σύνθετων αντιστάσεων του πρωτεύοντος και του ανηγμένου δευτερεύοντος, καταλήγοντας σε μια ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση.

Οι παράμετροι του ισοδύναμου κυκλώματος ενός μετασχηματιστή μπορούν να υπολογιστούν από τα αποτελέσματα δύο δοκιμών στον μετασχηματιστή: της δοκιμής ανοιχτού κυκλώματος και της δοκιμής βραχυκυκλώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Τη σπονδυλική στήλη του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρισμό, 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 μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, που καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας.

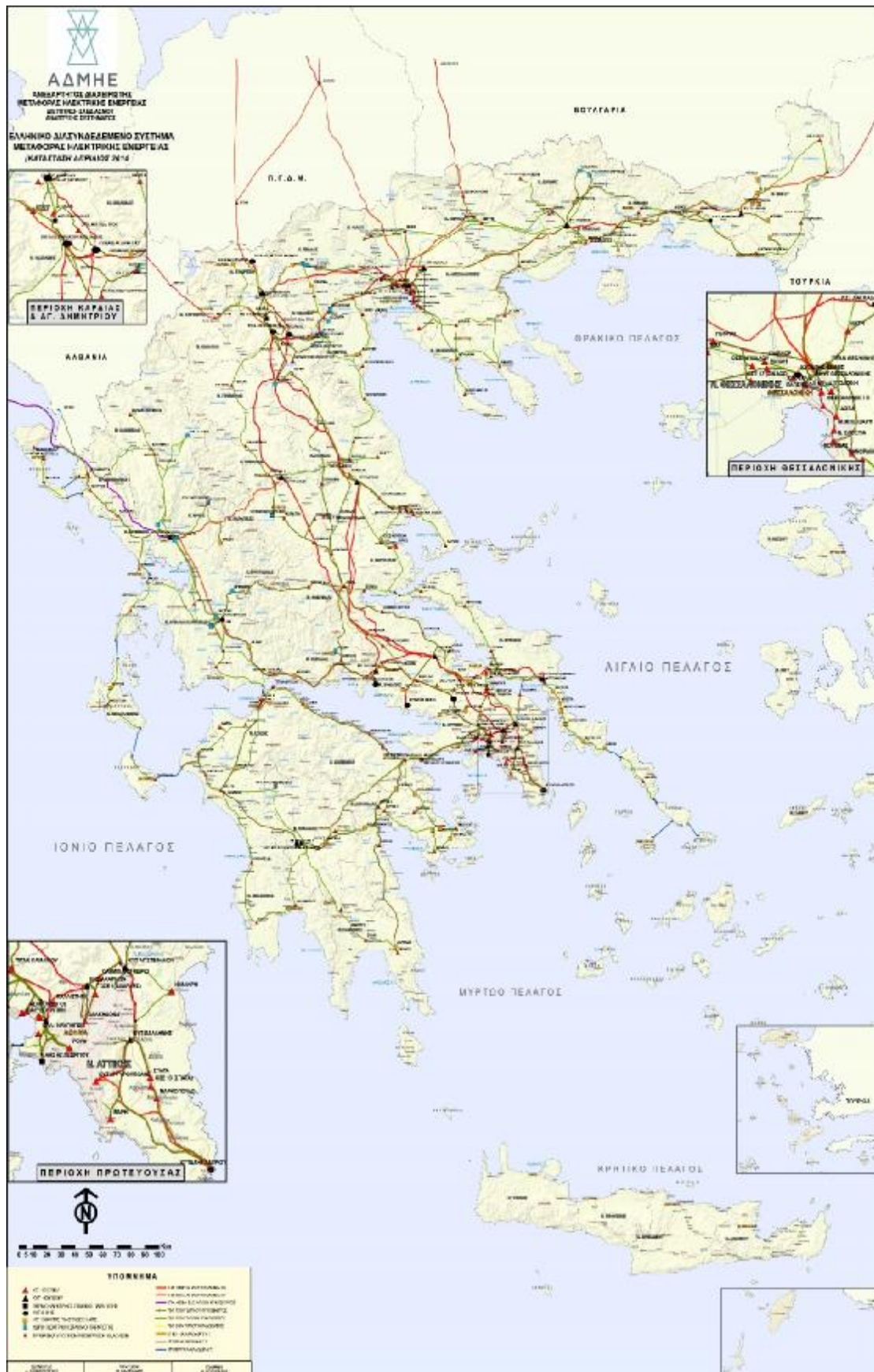
Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400 kV καθώς επίσης εναέριας, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV.

Την 31η Δεκεμβρίου 2013 το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς αποτελείτο από 11.232 χλμ. γραμμών μεταφοράς, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα

Πίνακας 1: Γραμμές μεταφοράς (χλμ. όδευσης)

	400kV	Σ.Ρ. (D.C.) 400kV	150 kV	66 kV	ΣΥΝΟΛΟ
ΕΝΑΕΡΙΕΣ	2.647	107	8.152	39	10.945
ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ	0,58		140	15	155
ΥΠΟΓΕΙΕΣ	30		101		131
ΣΥΝΟΛΟ	2.677	107	8.393	54	11.232

Την 31η Δεκεμβρίου 2013 σε 331 Υποσταθμούς και ΚΥΤ του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς ήταν εγκατεστημένοι 732 Μετασχηματιστές και Αυτομετασχηματιστές με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 55.391 MVA.



Εικόνα 57: Το ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

5.1 Περιγραφή του υφιστάμενου συστήματος

5.1.1 Υποσταθμοί 150 KV/MT

Στο Σύστημα σήμερα είναι συνδεδεμένοι:

- 202 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/MT της ΔΕΗ, εκ των οποίων
 - 183 εξυπηρετούν τις ανάγκες των πελατών του Δικτύου Διανομής. Οι Υ/Σ αυτοί περιλαμβάνουν τμήματα η διαχείριση των οποίων είναι στην αρμοδιότητα του ΔΕΣΜΗΕ. Στους παραπάνω Υ/Σ συμπεριλαμβάνονται 19 Υ/Σ που είναι συνδεδεμένοι σε Υ/Σ ανυψώσεως (16 από συμβατικούς σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ και 3 από σταθμούς ΑΠΕ) και 13 Υ/Σ που είναι συνδεδεμένοι στην πλευρά 150 kV των ΚΥΤ.
 - 14 εξυπηρετούν τις ανάγκες του Δικτύου Διανομής στην περιοχή Αττικής και η διαχείρισή τους είναι εξ ολοκλήρου στην αρμοδιότητα του Διαχειριστή του Δικτύου
 - 4 χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση των φορτίων Ορυχείων (Νοτίου Πεδίου Πτολεμαΐδας, Καρδιάς, Αμυνταίου, Χωρεμίου). Ανάγκες ορυχείων εξυπηρετεί και ο Υ/Σ Πτολεμαΐδας Ι, ο οποίος συμπεριλαμβάνεται στους 181 που εξυπηρετούν και ανάγκες Διανομής.
 - Ένας Υ/Σ (Αντλιοστάσιο Πολυφύτου) εξυπηρετεί ανάγκες άντλησης για τον ΥΗΣ Πολυφύτου.
- 20 Υ/Σ για την υποδοχή της ισχύος αιολικών πάρκων (Α/Π), εκ των οποίων οι Υ/Σ Καρύστου, Λιβαδίου και Αργυρού εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία Διανομής (συμπεριλαμβάνονται στους παραπάνω 202 Υ/Σ υποβιβασμού της ΔΕΗ)
- Υ/Σ ανυψώσεως Μ.Τ./150kV στους ακόλουθους Σταθμούς Παραγωγής της ΔΕΗ:
 - 7 Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί (Κομοτηνής, Πτολεμαΐδας, Αλιβερίου, Μεγαλόπολης Ι και ΙΙ, Αγ. Γεωργίου και Λαυρίου
 - 18 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Θησαυρού, Πλατανόβρυσης, Άγρα, Εδεσσαίου, Πολυφύτου, Ασωμάτων, Μακροχωρίου, Σφηκιάς, Ν.Πλαστήρα, Γκιώνας, Πηγών Αώου, Λούρου, Πουρναρίου Ι και ΙΙ, Καστρακίου, Κρεμαστών, Στράτου, Λάδωνα).
 - 2 Υ/Σ ανυψώσεως σε Σταθμούς Παραγωγής ανεξάρτητων Παραγωγών (ΗΡΩΝ Θερμοηλεκτρική Α.Ε. και Αλουμίνιο Α.Ε.). Οι μονάδες παραγωγής των εν λόγω σταθμών συνδέονται στα 150 kV μέσω Μ/Σ ανυψώσεως ΜΤ/150kV.
 - 35 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/MT που εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις Πελατών Υ.Τ.

5.1.2 Κέντρα υπερυψηλής τάσεως (ΚΥΤ)

Τα Κέντρα Υπερυψηλής Τάσεως (ΚΥΤ) αποτελούν τα σημεία σύνδεσης του Συστήματος 400kV με το Σύστημα 150kV και εξυπηρετούν ανάγκες απομάστευσης ισχύος προς το Σύστημα 150 kV. Πρόκειται για 12 ΚΥΤ, τα οποία περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους αυτομετασχηματιστές (ΑΜ/Σ) τριών τυλιγμάτων 400kV/150kV/30kV. Επιπλέον, υπάρχουν 6 ΚΥΤ (που δεν συμπεριλαμβάνονται στα προαναφερόμενα 12), τα οποία είναι εγκατεστημένα πλησίον των ομώνυμων σταθμών παραγωγής και εξυπηρετούν παράλληλα (ΚΥΤ Αμυνταίου, Καρδιάς, Λαυρίου) ή αποκλειστικά (Αγ. Δημητρίου, Μελίτης, ΕΝΘΕΣ) ανάγκες ανύψωσης τάσης από τις μονάδες παραγωγής προς το Σύστημα 400kV.

5.1.3 Γραμμές Μεταφοράς (Γ.Μ.)

Στο Σύστημα υπάρχουν Γ.Μ. υψηλής (150 kV) και υπερυψηλής (400 kV) τάσης διαφόρων ειδών και τύπων. Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται τα(προσεγγιστικά) συνολικά μήκη των εναερίων Γ.Μ. :

Πίνακας .2: Συνολικά Μήκη Εναερίων Γ.Μ. του Συστήματος

ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ (kV)	ΚΥΚΛΩΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ Γ.Μ.	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (km)
66	ΑΠΛΟ	Ε/66	40
150	ΑΠΛΟ	Ε/150	2590
150	ΑΠΛΟ	Β/150	2020
150	ΔΙΠΛΟ	2Β(Ε)/150	215
150	ΔΙΠΛΟ	2Β/150	6065
400	ΑΠΛΟ	Β'Β'/400	210
400	ΔΙΠΛΟ	2Β'Β'/400	3415
400	ΑΠΛΟ	Β'Β'Β'/400	285

Εκτός των ανωτέρω εναερίων Γ.Μ., στο Σύστημα υπάρχουν:

- 232 km υπογείων και υποβρυχίων καλωδίων 150 kV
- 4 km υπογείων καλωδίων 400 kV (ΕΝΘΕΣ – ΚΥΤ Θεσσαλονίκης)
- 13,5 km υποβρυχίων καλωδίων 66 kV (Ηγουμενίτσα – Κέρκυρα)
- 106 km εναέριας γραμμής και 160 km υποβρυχίου καλωδίου 400 kV Σ.Ρ.για τη διασύνδεση με την Ιταλία
- 212 km υπογείων καλωδίων 150 kV για τη μεταφορά ισχύος εντός των πυκνοκατοικημένων περιοχών της Πρωτεύουσας και της Θεσσαλονίκης.

5.1.4 Συσκευές αντιστάθμισης αέργου ισχύος

Οι ανάγκες για αντιστάθμιση αέργου ισχύος καλύπτονται με την εγκατάσταση στατών πυκνωτών και πηνίων. Πιο συγκεκριμένα, για την τοπική στήριξη των τάσεων στους Υ/Σ 150kV/MT, χρησιμοποιούνται στατοί πυκνωτές που εγκαθίστανται κυρίως στους ζυγούς Μ.Τ. των Υποσταθμών.

Επιπρόσθετα, κατά την πενταετία 2004 - 2009 εγκαταστάθηκαν 16 συστοιχίες πυκνωτών 150kV ονομαστικής ικανότητας 25 Mvar εκάστη σε Υ/Σ και ΚΥΤ του Συστήματος. Συνολικά, κατά την τελευταία διετία έχουν εγκατασταθεί περίπου 300 Mvar χωρητικής ισχύος σε επίπεδο Μέσης και Υψηλής Τάσης, καθώς και αντιστάθμιση σε Δημόσια κτίρια.

Επίσης, έχουν εγκατασταθεί πηνία στην πλευρά 150kV σε Υποσταθμούς 150kV/MT (σε εκείνους στους οποίους συνδέονται υποβρύχια καλώδια), καθώς και στο τριτεύον τύλιγμα (πλευρά 30 kV) των ΑΜ/Σ των ΚΥΤ για την αντιμετώπιση προβλημάτων εμφάνισης υψηλών τάσεων κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου.

5.1.5 Διεθνείς Διασυνδέσεις

Από τον Οκτώβριο του 2004 το Ελληνικό Σύστημα λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το σύγχρονο διασυνδεδεμένο Σύστημα του ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity), που μέχρι τον Ιούνιο του 2008 συνιστούσε την τέως UCTE (Union pour la Coordination du Transport de l' Electricité). Η παράλληλη λειτουργία επιτυγχάνεται μέσω διασυνδεδετικών Γ.Μ. 400 και 150 kV με τα Συστήματα της Αλβανίας, της Βουλγαρίας και της ΠΓΔΜ (FYROM). Επιπλέον, το Ελληνικό Σύστημα συνδέεται ασύγχρονα (μέσω υποβρυχίου συνδέσμου συνεχούς ρεύματος) με την Ιταλία. Η τοπολογία των υφιστάμενων και υπό ανάπτυξη διασυνδέσεων φαίνεται στο Σχήμα 1, όπου παριστάνονται με διαφορετικούς χρωματισμούς οι υφιστάμενες, οι υπό κατασκευή, οι προγραμματισμένες και οι υπό μελέτη διασυνδέσεις.



Εικόνα 58: Σχηματικό Διάγραμμα των Διασυνδεδεμένων Συστημάτων της Βαλκανικής

Στα επόμενα εδάφια γίνεται μία αναλυτική περιγραφή των διασυνδέσεων του Ελληνικού Συστήματος με τα Συστήματα των γειτονικών χωρών.

Ελλάδα - ΠΓΔΜ

Με το Σύστημα της ΠΓΔΜ η Ελλάδα συνδέεται μέσω:

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

Ελλάδα - Αλβανία

Με το Αλβανικό Σύστημα η Ελλάδα συνδέεται μέσω:

- μίας γραμμής 400 kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ ΚΥΤ Καρδιάς και Elbasan (Αλβανία). Η ικανότητα μεταφοράς ισχύος μέσω της γραμμής αυτής περιορίζεται στα 250 MVA λόγω περιορισμών στο Αλβανικό Σύστημα. Τούτο οφείλεται στη δομή του Αλβανικού Συστήματος, δεδομένου ότι η Αλβανία δεν διαθέτει σύστημα 400 kV πέραν της Γ.Μ. Elbasan – Καρδιά, παρά μόνο σύστημα 220 kV με χαλαρές συνδέσεις με τη Σερβία και το Μαυροβούνιο.
- μίας γραμμής 150 kV ελαφρού τύπου μεταξύ Υ/Σ Μούρτου και ΥΗΣ Bistrica στην Αλβανία, ονομαστικής ικανότητας μεταφοράς 100 MW περίπου.

Μέσω των πιο πάνω διασυνδετικών γραμμών το Αλβανικό Σύστημα λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το Ελληνικό Σύστημα.

Ελλάδα - Βουλγαρία

Με το Βουλγαρικό Σύστημα η Ελλάδα συνδέεται μέσω μίας Γ.Μ. 400 kV (τύπου Β'Β'), μεταξύ ΚΥΤ Θεσσαλονίκης και Blagoevgrad στην Βουλγαρία.

Ελλάδα - Ιταλία

Η διασύνδεση αυτή συνδέει το ΚΥΤ Αράχθου με τον Υ/Σ Galatina στην Ιταλία. Είναι σύνδεση συνεχούς ρεύματος και περιλαμβάνει:

- 2 σταθμούς μετατροπής ΥΤΣΡ (HVDC) 400 kV ικανότητας 500 MW
- τμήματα εναερίων Γ.Μ. DC μήκους 45 km επί Ιταλικού εδάφους και 107 km επί ελληνικού εδάφους
- τμήμα υπογείου καλωδίου DC μήκους 4 km επί Ιταλικού εδάφους
- ένα υποβρύχιο καλώδιο DC 400 kV ισχύος 500 MW και μήκους 160 km

Το ΚΥΤ Αράχθου συνδέεται με το Σύστημα μέσω δύο Γ.Μ. 400 kV απλού κυκλώματος με τρίδυμο αγωγό (Β'Β'Β'/400 kV) με τα ΚΥΤ Τρικάλων και Αχελώου μήκους 105 km και 71,5 km αντίστοιχα.

Η διασύνδεση Σ.Ρ. των Συστημάτων Ελλάδας και Ιταλίας μέσω υποβρυχίου καλωδίου έχει τεθεί σε εμπορική λειτουργία και λειτουργεί επιτυχώς από το τέλος του 2002 (με εξαίρεση δύο περιόδων βλάβης, διάρκειας μερικών εβδομάδων, το καλοκαίρι του 2007 και του 2008, στην Ιταλική πλευρά).

Ελλάδα - Τουρκία

Από το θέρους του 2008 έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή της Γ.Μ. 400 kV ΚΥΤ Φιλίππων – ΚΥΤ Ν. Σάντας – Babaeski (Τουρκία). Η Γ.Μ. αυτή είναι διπλού κυκλώματος (τύπου 2B'Β') στο τμήμα ΚΥΤ Φιλίππων – Ν. Σάντα και μονού κυκλώματος (τύπου Β'Β'Β') στο τμήμα Ν. Σάντα - Babaeski. Η θέση της Γ.Μ. σε λειτουργία θα γίνει μετά την ολοκλήρωση των απαραίτητων τεχνικών βελτιώσεων στο Σύστημα της Τουρκίας, οι οποίες έχουν ζητηθεί από τον ENTSO-E. Το τελευταίο χρονικό διάστημα έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος από την Τουρκική πλευρά και η έναρξη δοκιμαστικής σύγχρονης και παράλληλης λειτουργίας του Συστήματος της Τουρκίας με το σύγχρονο Ευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο Σύστημα αναμένεται μέχρι το τέλος του 2010. Η διασύνδεση της Τουρκίας με το Ευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο Σύστημα αναμένεται να γίνει μέσω της πιο πάνω Γ.Μ. (Ν. Σάντα – Babaeski), καθώς και με δύο υφιστάμενες Γ.Μ. 400 kV από τη Βουλγαρία.

5.2 Κριτήρια σχεδιασμού συστήματος

Η ανάπτυξη του Συστήματος σχεδιάζεται με στόχο την ικανοποίηση των απαιτήσεων ασφάλειας που καθορίζονται στον ΚΔΣ&ΣΗΕ, καθώς και της αύξησης των δυνατοτήτων διακίνησης ενέργειας, προς και από τους κόμβους του Συστήματος, αλλά και προς και από τα γειτονικά Συστήματα.

5.2.1 Ασφάλεια

Στα πλαίσια εκτίμησης του βαθμού ικανοποίησης των κριτηρίων ασφαλούς λειτουργίας του Συστήματος, ελέγχεται μία σειρά από παραμέτρους για την εκτίμηση των λειτουργικών καταστάσεων και την απόκριση του Συστήματος σε συνθήκες διαταραχών. Για το σκοπό αυτό, στα πλαίσια του προγράμματος ανάπτυξης εκπονούνται οι ακόλουθες μελέτες:

1. Μελέτες ανάλυσης στατικής ασφάλειας: Αναλύεται η συμπεριφορά του Συστήματος στη μόνιμη κατάσταση (μελέτες ροής φορτίου) σε συνθήκες μεγίστου και ελαχίστου φορτίου, σύμφωνα με τα κριτήρια N (κανονική λειτουργία με διαθέσιμα όλα τα στοιχεία του Συστήματος) και N-12 (απώλεια ενός στοιχείου του Συστήματος, όπως Γ.Μ., μονάδα παραγωγής, ΑΜ/Σ). Ειδικά για το δίκτυο των 400kV, λόγω του κρίσιμου ρόλου του στη μεταφορά ενέργειας κατά μήκος του άξονα Βορρά-Νότου, ελέγχεται επιπλέον η συμπεριφορά του Συστήματος σε συνθήκες λειτουργίας N-2 (απώλεια δύο στοιχείων του Συστήματος). Τα κριτήρια καλής και ασφαλούς λειτουργίας καλύπτουν τις απαιτήσεις του ΚΔΣ&ΣΗΕ (Άρθρο 247, § 3 και 4) και είναι τα εξής:
 - Τα επίπεδα τάσεως στους ζυγούς Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ. του Συστήματος απαιτείται να διατηρούνται εντός των

παρακάτω ορίων: - $\pm 5\%$ της ονομαστικής τιμής σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας (N) - $\pm 10\%$ της ονομαστικής τιμής σε έκτακτες συνθήκες λειτουργίας (N-1)

- Οι φορτίσεις των Γ.Μ. να είναι κάτω από τα θερμικά τους όρια, τόσο σε κανονικές (N), όσο και σε έκτακτες (N-1) συνθήκες λειτουργίας. Επειδή το μέγιστο φορτίο του Συστήματος εμφανίζεται κατά τη θερινή περίοδο, στις μελέτες ανάλυσης στατικής ασφάλειας λαμβάνονται υπόψη τα θερινά όρια λειτουργίας.
2. Μελέτες στατικής ευστάθειας: Αναλύεται η συμπεριφορά του Συστήματος σε περιπτώσεις μικρών μεταβολών καταστάσεων, όπως μεταβολές στο φορτίο και την τοπολογία για την ανίχνευση τυχόν ταλαντώσεων χαμηλής συχνότητας. Οι μελέτες αυτές, επειδή απαιτούν τη μοντελοποίηση του συνολικού Ευρωπαϊκού Συστήματος, γίνονται σε συνεργασία με το Διαχειριστή Συστήματος των Ευρωπαϊκών Χωρών (ENTSO-E).
 3. Μελέτες μεταβατικής ευστάθειας: Ελέγχεται η ικανότητα του Συστήματος να επανέλθει σε κανονική κατάσταση λειτουργίας μετά από μεγάλες και κρίσιμες διαταραχές, όπως
 - απώλεια μονάδας παραγωγής
 - σφάλματα σε Γ.Μ. ή ζυγούς κρίσιμων Υ/Σ ή ΚΥΤ.
 - Ελέγχεται επίσης, εάν μετά τη διαταραχή οι γεννήτριες παραμένουν σε συγχρονισμό ή αποσυγχρονίζονται.
 4. Μελέτες βραχυκυκλωμάτων: Υπολογίζονται οι μέγιστες τιμές ρευμάτων βραχυκυκλώσεως σε όλους τους ζυγούς του Συστήματος, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60909. Ελέγχεται αν η μέγιστη υπομεταβατική στάθμη βραχυκυκλώσεως υπερβαίνει το 90% εκείνης που προβλέπεται στις προδιαγραφές του εξοπλισμού. Το παραπάνω αποτελεί και ένα βασικό κριτήριο σχεδιασμού του εξοπλισμού Υ/Σ και ΚΥΤ σύμφωνα με τον ΚΔΣ&ΣΗΕ (Άρθρο 247, § 10).

Η συμπεριφορά του Συστήματος μελετάται σε «ακραίες» καταστάσεις φόρτισης, δηλαδή συνθήκες μεγίστου και ελαχίστου φορτίου. Η κατανομή της παραγόμενης ισχύος στις μονάδες παραγωγής γίνεται με βάση τις συνήθειες πρακτικές, όπως προκύπτουν από τη σειρά ένταξης των μονάδων, με εξαίρεση τις μονάδες παραγωγής στο Νότιο Σύστημα, οι οποίες σε ώρες μεγίστου φορτίου εντάσσονται με τη μέγιστη διαθέσιμη παραγωγή τους. Επιπλέον, μελετάται η συμπεριφορά του Συστήματος σε «ακραίες» καταστάσεις φόρτισης (τυπικά ελάχιστα και μέγιστα) ορισμένων κρίσιμων περιοχών του Συστήματος .

Κατά την τελευταία περίοδο και κατόπιν ειδικών μελετών δυναμικής συμπεριφοράς, καθώς και μελετών ευστάθειας τάσεως, έχουν υλοποιηθεί από το ΔΕΣΜΗΕ ειδικά Συστήματα Προστασίας (Special Protection Schemes) με χρήση PLC (Programming Logical

Controllers) για την αντιμετώπιση εκτάκτων καταστάσεων απώλειας Γ.Μ. ή μονάδων παραγωγής στο Νότιο Σύστημα.

5.2.2 Ικανότητα διακίνησης ενέργειας

Υπολογίζεται η ικανότητα διακίνησης ισχύος από και προς τα γειτονικά συστήματα με βάση τις τρέχουσες ρυθμίσεις των προστασιών των διασυνδεδειγμένων γραμμών, εφαρμόζοντας τα προαναφερθέντα κριτήρια Στατικής και Δυναμικής ασφάλειας. Μετά την απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή, η ικανότητα διακίνησης ενέργειας αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη εμπορικών ανταλλαγών ενέργειας. Δεδομένου ότι η ικανότητα μεταφοράς από και προς τα γειτονικά συστήματα εξαρτάται από την ικανότητα όχι μόνο του Ελληνικού Συστήματος αλλά και των συστημάτων στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων, μελετώνται έργα ενίσχυσης και ανάπτυξης των διασυνδέσεων στην ευρύτερη περιοχή.

5.3 Στρατηγική ανάπτυξης του συστήματος

5.3.1 Στόχοι

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται οι στρατηγικοί στόχοι Ανάπτυξης του Συστήματος Μεταφοράς για μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα 10 έως 15 ετών. Οδηγός για έναν τέτοιο μακροχρόνιο σχεδιασμό είναι κατ' αρχήν η πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας και αιχμής για τη χρονική περίοδο του σχεδιασμού, οι αντίστοιχες προβλέψεις για νέες μονάδες παραγωγής, καθώς και η εκτίμηση για τη χωροθέτησή τους. Και οι δύο αυτοί παράγοντες: πρόβλεψη φορτίου και πρόβλεψη παραγωγής- σε μακροχρόνιο ορίζοντα παρουσιάζουν σημαντικές αβεβαιότητες. Η πρόβλεψη της ζήτησης παρουσιάζει μεγάλες αβεβαιότητες καθώς η εξέλιξή της εξαρτάται από πλήθος παραγόντων. Τέτοιοι παράγοντες είναι ο ρυθμός ανάπτυξης της οικονομίας, η εξέλιξη των κλιματικών αλλαγών, η επίδραση μέτρων εξοικονόμησης και διαχείρισης ενέργειας, η πιθανή υποκατάσταση ηλεκτρικών φορτίων από άλλες πηγές, η ελαστικότητα της ζήτησης σε σχέση με τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας κλπ..

Αντίστοιχα μεγάλες αβεβαιότητες παρουσιάζει η εκτίμηση των μελλοντικών αιχμών, καθώς αυτές, πέραν των προαναφερθέντων παραγόντων, εξαρτώνται δραστικά από την ένταση και τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων, που δεν μπορούν βέβαια να προβλεφθούν. Σαφώς μεγαλύτερες αβεβαιότητες εμπεριέχονται στις εκτιμήσεις αναφορικά με την ανάπτυξη νέων μονάδων παραγωγής, το είδος των μονάδων αυτών σε περιβάλλον ελεύθερης ανταγωνιστικής αγοράς και ιδίως του τόπου εγκατάστασής τους. Γνωστές είναι άλλωστε οι αντιδράσεις κατά της εξαγγελόμενης χωροθέτησης νέων έργων παραγωγής, όπως επίσης και κατά κάθε σημαντικού έργου μεταφοράς.

Τα παρατιθέμενα στη συνέχεια στοιχεία Στρατηγικής Ανάπτυξης του Συστήματος αφορούν κυρίως την ανάπτυξη και ενίσχυση του ΕΔΣΜ, δηλαδή των Συστημάτων 400 kV και 150 kV και των μεταξύ τους συνδέσεων (ΚΥΤ), την ανάπτυξη των Διασυνδέσεων της Ελλάδας με γειτονικές χώρες, την ενσωμάτωση σταθμών ΑΠΕ, για την ικανοποίηση των στόχων που έχουν τεθεί σε εθνικό επίπεδο.

Στον Πίνακα 3 φαίνονται εκτιμήσεις της ζήτησης σε ενέργεια και αιχμή για την περίοδο έως το 2020.

Πίνακας 3: Προβλέψεις ζήτησης ενέργειας και αιχμής στο ΕΔΣΜ (2010-2020)

Σενάριο Ετος	Φορτίο Αιχμής (MW)			Ζήτηση Ενέργειας (GWh)		
	Χαμηλό	Αναφοράς	Υψηλό	Χαμηλό	Αναφοράς	Υψηλό
2010	9900	10260	10650	52960	53065	53065
2011	10080	10500	10900	53860	54230	54390
2012	10260	10710	11240	54720	55370	56020
2013	10400	10960	11540	55540	56480	57700
2014	10560	11160	11930	56320	57550	59430
2015	10760	11410	12330	57335	58890	61210
2016	10860	11700	12620	58020	60340	63050
2017	11000	11950	13020	58700	61820	64940
2018	11090	12250	13410	59380	63340	66890
2019	11250	12550	13810	60060	64900	68900
2020	11350	12840	14200	60670	66500	70960

Στον προηγούμενο πίνακα παρατίθενται τρία ενδεικτικά σενάρια: “Χαμηλό”, “Αναφοράς” και “Υψηλό”. Λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις της οικονομικής κρίσης, τα αναφερόμενα ως σενάρια “Χαμηλό” και “Αναφοράς” αντιστοιχούν στα σενάρια “Εξοικονόμησης Ενέργειας” και “Αναφοράς” αντίστοιχα του ΣΕΕΣ.

Περαιτέρω, ο ΔΕΣΜΗΕ παραθέτει εκτιμήσεις για ένα σενάριο αυξημένης ζήτησης, στο οποίο γίνεται η υπόθεση ότι η οικονομία και το φορτίο ανακάμπτουν με ρυθμούς αύξησης μεγαλύτερους από αυτούς των δύο πρώτων σεναρίων.

Η πρόβλεψη της αιχμής, αν και πολύ πιο αβέβαιη από αυτήν της ενέργειας, είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ανάπτυξη του Συστήματος, μια και το Σύστημα πρέπει να ανταπεξέλθει στις αυξημένες απαιτήσεις της αιχμής, χωρίς περικοπές. Η διαμόρφωση του σεναρίου Αναφοράς εξέλιξης της αιχμής έχει στηριχθεί στην υπόθεση ότι ο συντελεστής φορτίου θα παραμείνει χαμηλός, ίσως με 59%. Για τη διαμόρφωση του “ΥΨΗΛΟΥ” σεναρίου έχει θεωρηθεί ακραίος συντελεστής φορτίου, ίσως με 57%, ενώ για το “ΧΑΜΗΛΟ” σενάριο έχει θεωρηθεί ευνοϊκός συντελεστής φορτίου, ίσως με 62%. Για την πρόβλεψη της αιχμής στο χαμηλό και υψηλό σενάριο, γίνεται

επιπλέον η υπόθεση ότι συμπίπτουν ευνοϊκές και αντιστοίχως ακραία δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

5.4 Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς

5.4.1 Σύστημα 400 kV

Τέταρτο Κύκλωμα Βορρά-Νότου

Το Σύστημα 400kV δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλές φορτίσεις σε σχέση με τα θερμικά όρια των Γ.Μ.. Τα πλέον φορτιζόμενα κυκλώματα είναι αυτά που καταλήγουν στο ΚΥΤ Τρικάλων από το λιγνιτικό κέντρο Δ. Μακεδονίας, με φόρτιση της τάξεως του 75% σε συνθήκες N-1 στη διάρκεια του θέρους14. Επομένως, η ενίσχυση της πιο πάνω όδευσης με νέα Γ.Μ. 400 kV έχει απασχολήσει και στο παρελθόν το ΔΕΣΜΗΕ. Το θέμα εξετάζεται εκ νέου, διότι αφενός υπάρχει ήδη σημαντική μείωση του φορτίου αφετέρου το σύνολο σχεδόν των μονάδων Φ.Α. που είναι υπό κατασκευή βρίσκεται στο Νότο15. Περαιτέρω ανάπτυξη παραγωγής στο Β.Δ. Σύστημα δεν φαίνεται να είναι σημαντική. Έχουν βέβαια δημοσιευθεί σχέδια για ανακατατάξεις του παραγωγικού δυναμικού στην περιοχή Δυτικής Μακεδονίας, θα υπάρξει όμως και απόσυρση παλαιών μονάδων. Σημαντικότερος λόγος για την υλοποίηση αυτού του έργου θα ήταν η ενίσχυση της διασυνδετικής ικανότητας προς την Ιταλία με αναβάθμιση της ικανότητας μεταφοράς του συνδέσμου Σ.Ρ. από 500MW σε 1000MW. Σε περίπτωση εξαγωγών αυτού του επιπέδου ισχύος προς την Ιταλία, σε συνδυασμό με την αναμενόμενη αύξηση του φορτίου στη χώρα μας, επιβάλλεται η κατασκευή αυτής της Γ.Μ. Στο θέμα όμως της αναβάθμισης του συνδέσμου Σ.Ρ. με την Ιταλία, παρά τις επιδιώξεις της Ελληνικής πλευράς, δεν έχει υπάρξει σημαντική εξέλιξη.

Στο πιο πάνω πλαίσιο, η ανάπτυξη νέας Γ.Μ. 400kV Βορρά – Νότου μπορεί να μετατεθεί για την περίοδο 2020-25, με σημείο εκκίνησης της Γ.Μ. από το ΚΥΤ Φλώρινας. Πιο επείγον έργο είναι, στα πλαίσια της χάραξης της νέας αυτής γραμμής, να κατασκευαστεί το πρώτο τμήμα αυτής, από το ύψος του ΚΥΤ Φλώρινας μέχρι το ύψος του ΚΥΤ Καρδιάς και το τμήμα αυτό να συνδεθεί καταρχήν στην υφιστάμενη Γ.Μ. Καρδιάς – Τρικάλων ώστε να υπάρξει αποφόρτιση του ΚΥΤ Καρδιάς.

Οριζόντιο Κύκλωμα Τρικάλων - Λάρισας

Σε προηγούμενες μελέτες είχε περιληφθεί νέο, οριζόντιο γεωγραφικά, κύκλωμα 400kV ΚΥΤ Λάρισας – ΚΥΤ Τρικάλων, με σκοπό και πάλι την ενίσχυση του ΚΥΤ Τρικάλων για την υποστήριξη μελλοντικών αυξημένων εξαγωγών προς την Ιταλία. Η γραμμή αυτή θα έχει ισοδύναμη σχεδόν συμβολή με αυτή μεταξύ Τρικάλων - Δ. Μακεδονίας. Επομένως τίθεται θέμα επιλογής προτεραιοτήτων. Για την όποια τελική επιλογή έχει σημασία η εκτίμηση της χώρας προέλευσης των εισαγωγών στη χώρα μας για κάλυψη ιδίων φορτίων

ή/και διελεύσεων με προορισμό εξαγωγών την Ιταλία. Επίσης, έχει σημασία η πρόβλεψη ανάπτυξης παραγωγικού δυναμικού στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη.

Κύκλωμα Θεσσαλονίκης - Λάρισας

Οι πιο πάνω αναφερθείσες παράμετροι, δηλαδή η χώρα προέλευσης των εισαγωγών και ανάπτυξη σημαντικού δυναμικού στις ΒΑ περιοχές της χώρας, θα οδηγήσουν στην ανάγκη ανάπτυξης διαδρόμου μεταφοράς ΥΥΤ μεταξύ Θεσσαλονίκης και Λάρισας, έργο βέβαια δύσκολο, λόγω αναμενόμενων δυσχερειών στην εξασφάλιση της όδευσης. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρουμε παρακάτω, οι νέες διασυνδέσεις της χώρας θα είναι η υπό κατασκευή διασυνδετική γραμμή με την Τουρκία και νέα διασυνδετική γραμμή από τη Θράκη (ΚΥΤ Ν. Σάντας) προς τη Βουλγαρία (κέντρο παραγωγής Maritsa). Επίσης υπάρχουν εξαγγελίες για σημαντική αύξηση θερμικής παραγωγής ανατολικά της Θεσσαλονίκης, ενώ αναμένεται και η ανάπτυξη νέων Αιολικών Πάρκων στη Θράκη.

Απευθείας Σύνδεση του νέου ΚΥΤ Πατρών με το ΚΥΤ Αχελώου

Η τρέχουσα σχεδίαση αναφορικά με την τροφοδότηση του ΚΥΤ Πατρών στα 400kV προβλέπει τη σύνδεση με είσοδο – έξοδο του ενός εκ των δύο κυκλωμάτων της διπλής ΓΜ Αχελώου – Διστόμου με διπλή εναέρια ΓΜ επί της Στερεάς Ελλάδας και στη συνέχεια με υπόγεια και υποβρύχια καλώδια μέχρι το ΚΥΤ Πατρών. Στα πλαίσια της Στρατηγικής Μελέτης προβλέπεται η ανάπτυξη εναέριας ΓΜ 400kV από το σημείο ζεύξεως επί της γραμμής Αχελώου – Διστόμου μέχρι το ΚΥΤ Αχελώου για να υπάρξει από εκεί απευθείας τροφοδότηση του ΚΥΤ Πατρών.

Ανάπτυξη Συστήματος για την Απορρόφηση Νέας Παραγωγής

Οι νέοι Σταθμοί Παραγωγής (ΣΠ) δημιουργούν την ανάγκη αφενός για νέες γραμμές σύνδεσης από το χώρο εγκατάστασής τους μέχρι το υφιστάμενο Σύστημα καθώς και για ενισχύσεις του Συστήματος εφόσον υπάρξει συνωστισμός λόγω μεγάλης συγκέντρωσης παραγωγικού δυναμικού. Η ανάπτυξη νέου δυναμικού παραγωγής στην Εύβοια οδηγεί στην ανάγκη κατασκευής της δεύτερης Γ.Μ. 400kV (με συνδυασμό εναερίων και υποβρυχίων τμημάτων) μεταξύ Εύβοιας και υφισταμένου Συστήματος.

Αλλα διαφαινόμενα σχέδια, για μελλοντική μεγάλη ανάπτυξη αιολικής παραγωγής στα νησιά και συνδέσεις νησιών του Ανατολικού Αιγαίου με σημαντικό αιολικό δυναμικό με το Ηπειρωτικό Σύστημα, οδηγούν στην ανάγκη σύνδεσης της εν λόγω γραμμής στο ΚΥΤ Λάρυμνας μέσω του βορείου τμήματος της Ευβοίας και υποβρύχιας ζεύξης προς την πλευρά της Λάρυμνας, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη ΚΥΤ στη βόρεια Εύβοια (βλ. § 7.2.2).

Νέα KYT 400/150 kV

Τα KYT αποτελούν το σημείο διεπαφής μεταξύ των Συστημάτων 400kV και 150kV. Μέσω των AM/Σ που είναι εγκαταστημένοι στα KYT γίνεται η διακίνηση της μεταφερόμενης ισχύος προς το σύστημα 150kV και από εκεί στους Υ/Σ YT/MT και τελικώς προς την κατανάλωση. Το πλήθος των KYT και των εγκατεστημένων σε αυτά AM/Σ έχει σημασία, όχι μόνο για την εξασφάλιση της τροφοδότησης των φορτίων, αλλά και για τη στήριξη των τάσεων και την παροχή αέργου ισχύος προς το Σύστημα 150kV.

Σημαντικός αριθμός νέων KYT έχουν προγραμματιστεί, όπως τα KYT Λαγκαδά και Ν. Σάντας που είναι πλέον σε στάδιο κατασκευής, τα KYT Πατρών και Ρουφ που είναι στο στάδιο αδειοδοτήσεων, τα KYT Κορίνθου, Λαμίας και Μεσογείων που είναι στο στάδιο εξεύρεσης χώρων, καθώς και νέο KYT στη Μεγαλόπολη. Το KYT Αργυρούπολης έχει μείνει ημιτελές, καθώς λειτουργεί μόνο η πλευρά 150 kV με μειωμένη ικανότητα.

Για την επόμενη περίοδο, τα νέα KYT που μελετώνται είναι τα ακόλουθα:

- Στα δυτικά της Θεσσαλονίκης. Εξετάζεται η κατασκευή νέου KYT στα δυτικά της πόλης. Κατάλληλος χώρος είναι αυτός του υφιστάμενου KYT ανύψωσης του ΘΗΣ ΕΝΘΕΣ. Εφόσον υπάρξει διευθέτηση για διάθεση χώρου από την ΕΝΘΕΣ, το KYT θα αποτελούσε στην ουσία επέκταση του υφισταμένου KYT με εγκατάσταση ενός ή δύο AM/Σ και είσοδο – έξοδο των κυκλωμάτων της ΓΜ Βέροιας – KYT Θεσσαλονίκης (Ωραιόκαστρο) που ήδη διέρχονται από το χώρο του ΘΗΣ ΕΝΘΕΣ. Το έργο παρέχει πλεονεκτήματα όχι μόνο για το Σύστημα, λόγω της τροφοδότησης των τοπικών Υ/Σ 150 kV και της ενίσχυσης των τάσεων σε διαταραχές, αλλά και για τον ΣΠ, αφού θα δίνεται η δυνατότητα απομάστευσης μέρους της ισχύος του ΣΠ σε περίπτωση απώλειας του καλωδίου σύνδεσής του με το Σύστημα. Το έργο αυτό, εφόσον υπάρξει κατάλληλη συμφωνία με την ΕΝΘΕΣ, θα πρέπει να προταχθεί δεδομένου ότι αποτελεί επέκταση υφισταμένου έργου και λογικά δεν θα πρέπει να αντιμετωπίσει αδειοδοτικά προβλήματα.
- Στο Σχηματάρι. Το έργο εξαρτάται από την πιθανή ανάπτυξη σημαντικού παραγωγικού δυναμικού στην Εύβοια αλλά και από την όδευση της νέας ΓΜ 400kV από την Εύβοια προς το Σύστημα για την κάλυψη των αναγκών του νέου αυτού παραγωγικού δυναμικού. Πέραν των παραπάνω λόγων, ένα νέο KYT στο Σχηματάρι φαίνεται χρήσιμο λόγω των υψηλών φορτίων της περιοχής (σημαντική βιομηχανική περιοχή) αλλά και λόγω της μικρής απόστασής του από το Λεκανοπέδιο όπου η χωροθέτηση νέων KYT είναι εξαιρετικά δυσχερής. Οι πρόσφατες πάντως διερευνήσεις που έγιναν από τον Κύριο του Συστήματος σχετικά με τη χάραξη της δεύτερης Γ.Μ. 400 kV

από το Αλιβέρι, οδηγούν σε επιλογή όδευσης από το ΚΥΤ Αλιβερίου προς το ΚΥΤ Λάρυμνας. Τούτο οδηγεί σε δεύτερη προτεραιότητα την προοπτική ΚΥΤ στο Σχηματάρι.

- Νέο ΚΥΤ στη Βόρειο Εύβοια. Όπως προαναφέρθηκε (βλ. § 7.2.1.5), από προκαταρκτική διερεύνηση χάραξης για δεύτερο κύκλωμα από το Αλιβέρι προς το Ηπειρωτικό Σύστημα, η πιο κατάλληλη διαδρομή είναι προς το βόρειο τμήμα της Εύβοιας και από εκεί κατάληξη με υποβρύχια ζεύξη στο ΚΥΤ Λάρυμνας. Τούτο σε συνδυασμό με μελλοντικές προοπτικές ζεύξης και ανάπτυξης σημαντικής αιολικής παραγωγής σε νησιά οδηγεί προοπτικά σε ανάπτυξη ΚΥΤ στην περιοχή της βόρειας Εύβοιας.

Πέραν των πιο πάνω, η σχεδιαζόμενη από τη ΔΕΗ επέκταση των ορυχείων Πτολεμαΐδας, θα οδηγήσει στην ανάγκη μετεγκατάστασης του ΚΥΤ Καρδιάς σε νέα θέση. Ως εκ τούτου, οι υφιστάμενες Γ.Μ. 400 kV και 150 kV που αναχωρούν από το ΚΥΤ Καρδιάς, αφενός θα μετατοπιστούν εκτός των ορίων μελλοντικής ανάπτυξης των ορυχείων και αφετέρου θα εκτραπούν προς τη νέα θέση του ΚΥΤ Καρδιάς.

Επίσης, η σχεδιαζόμενη ανάπτυξη νέας παραγωγής στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, σε συνδυασμό με τη διαφαινόμενη (λόγω της προαναφερόμενης επέκτασης των ορυχείων Πτολεμαΐδας) αποξήλωση του υφιστάμενου Υ/Σ Πτολεμαΐδα Ι (που αποτελεί σημαντικό κόμβο σύνδεσης μονάδων Παραγωγής, κυκλωμάτων 150 kV και Δικτύου), καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη νέου ΚΥΤ στο χώρο της νέας μονάδας. Το εν λόγω ΚΥΤ Πτολεμαΐδας θα συνδεθεί και στα δύο κυκλώματα της Γ.Μ. 400 kV ΚΥΤ Αμυνταίου – ΚΥΤ Καρδιάς και της Γ.Μ. 150 kV Πτολεμαΐδα – Ορυχείο Ν. Πεδίου.

5.4.2 Ανάπτυξη Συστήματος 150 kV

Με την περαιτέρω ανάπτυξη του Συστήματος 400kV, μειώνεται ο ρόλος του Συστήματος 150 kV όσον αφορά στη διακίνηση μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ισχύος. Παραμένει όμως η σημασία του για την αντιμετώπιση των βασικών αναγκών τροφοδότησης της χώρας σε περιφερειακό επίπεδο, την ανάπτυξη και σύνδεση νέων Υ/Σ διανομής και την απορρόφηση της ισχύος σταθμών παραγωγής μικρού σχετικά μεγέθους, κυρίως από ΑΠΕ.

Σε γενικές γραμμές πάντως, η μακροχρόνια ανάπτυξη του Συστήματος στα 150kV περιλαμβάνει:

- Τη συμπλήρωση του Συστήματος (κλείσιμο βρόχων) με κατασκευή νέων γραμμών 150 kV ή αναβάθμιση υφισταμένων Γ.Μ. απλού κυκλώματος σε Γ.Μ. διπλού κυκλώματος σε σημεία στα οποία σήμερα δεν πληρείται το κριτήριο N-1 με γραμμές μεταφοράς, αλλά μόνον με τροφοδότηση φορτίων μέσω διανομής, π.χ. Υ/Σ Αξιούπολης, Σιδηροκάστρου και

Νευροκοπίου στη Β. Ελλάδα, Δολιανών στην Ήπειρο, Αγιάς στη Λάρισα κλπ.

- Αναβάθμιση Γ.Μ. απλού κυκλώματος σε Γ.Μ. διπλού κυκλώματος. Τέτοιου είδους αναβαθμίσεις τριπλασιάζουν τη μεταφορική ικανότητα απλών γραμμών ελαφρού τύπου και επιφέρουν πολύ σημαντική βελτίωση σε θέματα τάσεων. Έχουν επίσης το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν υφιστάμενες οδεύσεις, γεγονός που διευκολύνει την αδειοδότηση. Παρά ταύτα όμως, ακόμα και τέτοιου είδους αναβαθμίσεις προκαλούν αντιδράσεις κατοίκων και τοπικών φορέων, που δεν επιτρέπουν την αδειοδότηση ή οδηγούν σε αιτήματα και κατά των προς αναβάθμιση υφισταμένων Γ.Μ., ζητώντας την αποξήλωση ή την κατάργησή τους.
- Αλλαγές αγωγών. Αποτελεί την τελευταία λύση, εφόσον δηλαδή η κατασκευή νέας Γ.Μ. ή η αναβάθμιση υφισταμένης δεν είναι δυνατή. Επιτρέπει την αύξηση του θερμικού ορίου των γραμμών μεταφοράς. Με την υφιστάμενη τεχνολογία υπάρχει η δυνατότητα αύξησης του θερμικού ορίου των Γ.Μ. στα 300 MW ή και περισσότερο, με απλή αλλαγή αγωγών και εξαρτημάτων ανάρτησης επί των ιδίων πύργων, πράγμα που διευκολύνει σημαντικά την κατασκευή και μειώνει το συνολικό χρόνο αναβάθμισης. Δεν παρέχει όμως την παραμικρή συμβολή σε θέματα τάσεων, δεδομένου ότι η σύνθετη αντίσταση της Γ.Μ. παραμένει η ίδια με πριν, εμφανίζονται μάλιστα λίαν αυξημένες απώλειες. Για το λόγο αυτόν, στο Ελληνικό Σύστημα τέτοιες αντικαταστάσεις αγωγών περιορίζονται στις περιπτώσεις που απαιτείται αύξηση του θερμικού ορίου στα 200 MVA (που αντιστοιχεί στο θερμικό όριο των υφιστάμενων κυκλωμάτων βαρέος τύπου υπό κανονικές συνθήκες) ή σε εξαιρετικές περιπτώσεις στα 250 MVA περίπου.

Σε κάθε περίπτωση, ο μακροχρόνιος σχεδιασμός για το Σύστημα 150 kV πρέπει να ακολουθεί τον αντίστοιχο σχεδιασμό για νέους Υ/Σ Διανομής και να προσαρμόζεται κατάλληλα περιοδικά.

5.5 Αντιστάθμιση Αέργου Ισχύος

Η αύξηση του φορτίου στο χρονικό ορίζοντα του έτους 2020 δημιουργεί προφανώς σημαντικές ανάγκες αντιστάθμισης αέργου ισχύος σε επίπεδο υψηλής και μέσης τάσεως. Η διατήρηση κατά το χρονικό αυτό ορίζοντα ενός υψηλού συντελεστή φορτίου, δηλαδή γύρω στο 97%, θα απαιτήσει τη σταδιακή εγκατάσταση χωρητικής αντιστάθμισης της τάξεως των 1000 – 1500 Mvar στους ζυγούς υψηλής και μέσης τάσεως των Υ/Σ 150 kV/20 kV. Ειδικά για την πλευρά Μ.Τ. των νέων Υ/Σ ακολουθείται η πρακτική εγκατάστασης πυκνωτών 12 Mvar ανά Μ/Σ 150 kV/20 kV σε βήματα των 4 MVar.

Το θέμα της εγκατάστασης SVC είχε απασχολήσει στο παρελθόν το ΔΕΣΜΗΕ. Αρχικά είχε προταθεί η εγκατάσταση SVC μεγάλης ισχύος (περίπου 300 Mvar) στο KYT Αχαρνών για ενίσχυση των τάσεων στο

Νότιο Σύστημα, ιδίως στο Πέταλο 400 kV της Αττικής. Η εγκατάσταση σημαντικής παραγωγής στο Λαύριο, της αναμενόμενης νέας παραγωγής (περίπου 1200 MW) βορείως του Πετάλου Αττικής και του νέου KYT στο Ρουφ, αίρει αυτήν την αναγκαιότητα.

Επίσης, υπάρχει σε εξέλιξη σημαντική αύξηση συμβατικής παραγωγής στο Νότιο Σύστημα. Επιπλέον, τα θέματα των τάσεων και της αντιστάθμισης αέργων αποτελούν τοπικά προβλήματα και δε μπορούν να αντιμετωπισθούν με εγκατάσταση σημαντικής αντιστάθμισης σε ένα σημείο. Άλλωστε, η εγκατάσταση πυκνωτών 150 kV έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα ευέλικτη και με πολύ καλά αποτελέσματα. Η εγκατάσταση αριθμού SVC μικροτέρου μεγέθους σε διάφορα σημεία του Συστήματος αναμένεται στα επόμενα χρόνια σε συνάρτηση με την πρόοδο των Α/Π, για να υπάρχει η δυνατότητα ευέλικτης ρύθμισης της τάσεως σε διάφορα σημεία του Συστήματος υπό υψηλή παραγωγή Α/Π, αλλά και με πιθανές διασυνδέσεις νησιωτικών συστημάτων.

5.6 Ανάπτυξη των διεθνών συνδέσεων της χώρας

Για τη διαμόρφωση ενός μακροχρόνιου σχεδιασμού για την ανάπτυξη των διεθνών διασυνδέσεων πρέπει να διατυπωθούν καταρχήν ορισμένες εκτιμήσεις σχετικά με τις ευρύτερες εξελίξεις στο χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο σε ευρύτερο Ευρωπαϊκό επίπεδο, αλλά και κυρίως στο επίπεδο των γειτονικών χωρών.

Γενικότερα, το Ευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο σύστημα στο οποίο μετέχουμε, αποτελεί μία σύγχρονη ζώνη που εκτείνεται σήμερα από την Ιβηρική χερσόνησο στα δυτικά μέχρι την Πολωνία στα ανατολικά και από την Ελλάδα μέχρι τη Δανία. Το εν λόγω διασυνδεδεμένο σύστημα είναι επίσης διασυνδεδεμένο με υποβρύχια καλώδια εναλλασσομένου ρεύματος με τις χώρες της ΒΔ Αφρικής (Μαρόκο – Αλγερία – Τυνησία), μέσω της Ισπανίας.

Είναι σήμερα υπό εξέταση πολλά αιτήματα επέκτασης του Ευρωπαϊκού διασυνδεδεμένου συστήματος προς όλες σχεδόν τις γεωγραφικές κατευθύνσεις. Οι νέες διασυνδέσεις που αναμένονται σε σχετικά σύντομο χρονικό ορίζοντα είναι αυτή προς την Τουρκία, καθώς και προς τις χώρες της Β. Αφρικής από τη Λιβύη μέχρι τη Μέση Ανατολή, στην κατεύθυνση δημιουργίας του αποκαλούμενου Μεσογειακού Δακτυλίου. Το κλείσιμο του Μεσογειακού Δακτυλίου φαίνεται ότι θα γίνει με συνδέσμους Σ.Ρ. μεταξύ Τουρκίας και Συρίας, δεδομένου ότι το κλείσιμο με εναλλασσόμενο ρεύμα έχει διαπιστωθεί ότι είναι τεχνικά ανέφικτο. Επίσης, πραγματοποιείται μελέτη για τη σύνδεση του Ρωσικού Συστήματος (IPS/UPS), ενώ υπάρχουν αντίστοιχα αιτήματα σύνδεσης της Ουκρανίας και της Μολδαβίας, καθώς και των χωρών της Βαλτικής. Οι συνδέσεις αυτές, ιδίως αυτή της IPS/UPS λόγω μεγέθους, παρουσιάζουν δυσκολίες και τα προς επίλυση ζητήματα είναι πολλά. Όμως, παρά τις δυσκολίες αυτές και ασχέτως των τεχνολογιών που θα απαιτηθούν (π.χ. μελέτες

για τη σύνδεση της IPS/UPS κατέληξαν στο ότι η προσφορότερη λύση συνίσταται στην ασύγχρονη σύνδεση με συνεχές ρεύμα), είναι αρκετά εύλογο στο χρονικό ορίζοντα του 2020-2025 να υπάρχουν διασυνδέσεις προς όλες αυτές τις κατευθύνσεις που θα επιτρέπουν την πραγματοποίηση ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας με τις χώρες αυτές. Στα πλαίσια αυτά η χώρα μας είναι δυνατό να εξελιχθεί σε σημαντικό κόμβο διακίνησης ενέργειας στην περιοχή της Νότιας Βαλκανικής.

Το Ελληνικό Σύστημα απέκτησε το 2007 νέα ισχυρή διασύνδεση με την ΠΓΔΜ (Γ.Μ. 400 kV Μελίτη – Bitola). Επίσης, τον Ιούνιο του 2008 ολοκληρώθηκε η νέα διασυνδυετική Γ.Μ. 400kV με την Τουρκία. Η σύνδεση της Τουρκίας με το Ευρωπαϊκό Σύστημα φαίνεται πιθανό να τεθεί σε δοκιμαστική λειτουργία περί το τέλος του 2010. Σύντομα δηλαδή και ιδιαίτερα μετά την αποδοχή της Τουρκίας για σύνδεση στο σύγχρονο διασυνδεδεμένο Σύστημα του ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity), το Ελληνικό Σύστημα θα διαθέτει 5 διασυνδυετικές 2 1 TfΓ γραμμές της χώρας (με ΠΓΔΜ και Βουλγαρία) στον ίδιο κόμβο. Δεύτερη διασυνδυετική Γ.Μ. με τη Βουλγαρία είχε μελετηθεί από κοινού από τη ΔΕΗ και τη ΝΕΚ το έτος 2000. Είχαν τότε εξετασθεί δύο δυνατά σενάρια, αμφότερα με αφετηρία το ΚΥΤ Φιλίππων προς Plovdiv ή προς το κέντρο παραγωγής Maritsa στην νοτιοανατολική πλευρά της Βουλγαρίας. Λόγω του δύσβατου της περιοχής στον ορεινό όγκο της Ροδόπης και από τις δύο πλευρές, εκτιμήθηκε ως πλέον εύλογη η χάραξη από τους Φιλίππους προς τη Maritsa.

Παραλλήλως, η Ελληνική πλευρά προώθησε και τη διασύνδεση με τη Τουρκία έχοντας υπόψη τη μελλοντική ανάπτυξη νέας διασύνδεσης με τη Βουλγαρία. Για το σκοπό αυτόν, το υπό κατασκευή τμήμα ΓΜ από το ΚΥΤ Φιλίππων μέχρι το ΚΥΤ της Ν. Σάντας κατασκευάζεται με διπλό κύκλωμα, ενώ το τμήμα από το ΚΥΤ Ν. Σάντας μέχρι τα σύνορα με την Τουρκία με απλό κύκλωμα, όπως παγίως γίνεται για τις διασυνδυετικές γραμμές. Η χάραξη της γραμμής μέχρι τη Ν. Σάντα όπως και το εκεί ομώνυμο ΚΥΤ είναι σε μικρή απόσταση από τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Κατά τη διάρκεια του 2008 και του 2009 πραγματοποιήθηκαν συναντήσεις του ΔΕΣΜΗΕ και της ΔΕΗ με τις αντίστοιχες εταιρείες της Βουλγαρικής πλευράς που κατέληξαν σε καταρχήν συμφωνία για την προώθηση της υπόψη διασύνδεσης (από περιοχή Ν.Σάντας προς Maritsa), που επί του Ελληνικού εδάφους θα έχει μήκος περί τα 30 km (από τη Ν. Σάντα μέχρι τα σύνορα) και από εκεί περί τα 130 km σε Βουλγαρικό έδαφος μέχρι το κέντρο παραγωγής της Maritsa. Η διασύνδεση παρέχει δυνατότητες εισαγωγών από το πιο πάνω κέντρο παραγωγής της Βουλγαρίας προς τη χώρα μας και επίσης συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας της σύνδεσης της Τουρκίας με το σύγχρονο διασυνδεδεμένο Σύστημα του ENTSO-E. Το έργο, τουλάχιστον όσον αφορά την Ελληνική πλευρά, είναι αρκετά εύκολο να υλοποιηθεί λόγω του μικρού απαιτούμενου μήκους ΓΜ και του χαμηλού σχετικά κόστους, δεδομένου ότι η γραμμή Φιλίππων – Ν. Σάντας έχει ήδη ολοκληρωθεί. Από πλευράς

της γείτονος, η δαπάνη, λόγω του τετραπλασίου μήκους ΓΜ που απαιτείται, είναι αντίστοιχα υψηλότερη. Μέχρι σήμερα δεν έχει υπάρξει οριστική συμφωνία με τη Βουλγαρική πλευρά. Το έργο πάντως παραμένει στις στρατηγικές επιδιώξεις του ΔΕΣΜΗΕ.

Η ενίσχυση της διασύνδεσης με την Ιταλία, αποτελεί επίσης στρατηγική επιδίωξη του ΔΕΣΜΗΕ που συναρτάται με τον ευρύτερο στόχο να αποτελέσει η χώρα μας κέντρο διαμετακόμισης ενέργειας μεταξύ των ανατολικών και δυτικών χωρών της Ευρώπης. Συγκεκριμένα, έχει προταθεί στην Ιταλική πλευρά η κατασκευή νέου συνδέσμου Σ.Ρ. ισχύος 500 MW με στόχο το διπλασιασμό της μεταφορικής ικανότητας προς Ιταλία. Τα τελευταία χρόνια έγιναν συναντήσεις μεταξύ του ΔΕΣΜΗΕ και της TERNΑ (που είναι ο κύριος και διαχειριστής του Συστήματος της Ιταλίας) και των Ρυθμιστικών Αρχών των δύο χωρών, ωστόσο μέχρι σήμερα δεν υπάρχει συμφωνία. Το έργο, βέβαια, είναι υψηλού κόστους, της τάξεως των 300 Μ€ ή και περισσότερο, λόγω της απαιτούμενης τεχνολογίας HVDC και των μεγάλων υποβρυχίων τμημάτων που απαιτούνται. Ο χώρος που απαιτείται τόσο στην Ελληνική πλευρά (Αραχθος) όσο και στην Ιταλική (Galatina) είναι διαθέσιμος, μια και Επίσης, η υφιστάμενη ΓΜ συνεχούς ρεύματος επί του Ελληνικού εδάφους από το KYT Αράχθου μέχρι το σημείο πόντισης είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να δύναται να δεχτεί και δεύτερο αγωγό. Παρά το έντονο ενδιαφέρον από Ελληνικής πλευράς, δεν έχει υπάρξει αντίστοιχη ανταπόκριση από την Ιταλική. Σε διάφορα forum έχουν εξαγγελθεί από τη γείτονα σχέδια για ανάπτυξη υποθαλάσσιων συνδέσεων από βορειότερα σημεία της Ιταλικής χερσονήσου, όπου βρίσκονται και τα σημαντικότερα κέντρα φορτίου της, σε σημεία της Βαλκανικής βορειότερα της Ελλάδος (Αλβανία, Κροατία, Μαυροβούνιο).

Συνοψίζοντας, η χώρα μας διαθέτει ήδη σημαντικότερες διασυνδέσεις με τις γειτονικές χώρες. Η νέα διασύνδεση με την Τουρκία έχει ολοκληρωθεί. Νέα αναμενόμενη διασύνδεση είναι αυτή προς Βουλγαρία στην όδευση Ν. Σάντα - Σύνορα – Maritsa, ενώ είναι δυνατός και ο διπλασιασμός της ισχύος του υφισταμένου συνδέσμου με την Ιταλία.

5.7 Βαθμίδες υψηλής και υπερυψηλής τάσεως στο ελληνικό σύστημα- Αντίστοιχες στάθμες βραχυκύκλωσης

Στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς υπάρχουν τα εξής επίπεδα υψηλής και υπερυψηλής τάσεως με τις αντίστοιχες στάθμες βραχυκυκλώσεως:

- Επίπεδο τάσης 66kV: Η στάθμη βραχυκυκλώσεως είναι 12kA σε τάση 72,5kV.

- Επίπεδο τάσης 150kV: Ο παλαιός εξοπλισμός αυτής της βαθμίδας τάσης είναι σχεδιασμένος με βάση μία στάθμη βραχυκυκλώσεως ίση με 20kA σε τάση 170kV, εκτός από ορισμένα ΚΥΤ και ισχυρούς σταθμούς παραγωγής όπου προβλεπόταν στάθμη των 25 kA στα 170 kV. Για τον νέο εξοπλισμό αυτής της βαθμίδας που έχει ή πρόκειται να εγκατασταθεί στο Σύστημα, προβλέπεται στάθμη βραχυκυκλώσεως 31 kA, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΔΣ&ΣΗΕ.
- Επίπεδο τάσης 400kV: Η στάθμη βραχυκυκλώσεως είναι 40kA σε τάση 420kV. Σημειώνεται ότι το επίπεδο τάσης 400kV ανήκει στην κατηγορία της Υπερυψηλής Τάσεως (Υ.Υ.Τ.), τα επίπεδα τάσεων 150kV και 66kV ανήκουν στην κατηγορία της Υψηλής Τάσεως (Υ.Τ.) και τα επίπεδα τάσης 22 kV, 20 kV και 15 kV ανήκουν στην κατηγορία της Μέσης Τάσεως (Μ.Τ.). Οι τάσεις της τελευταίας κατηγορίας δεν συναντώνται στο Σύστημα, αλλά μόνο στο Δίκτυο.

5.8 Υποσταθμοί ΥΤ/ΜΤ

5.8.1 Όριο του Συστήματος

Λαμβάνοντας υπόψη τις προβλέψεις του ΚΔΣ&ΣΗΕ (Άρθρα 302 και 303), ως όριο του Συστήματος έχει καθορισθεί το διακοπτικό στοιχείο που βρίσκεται στους ακροδέκτες Υ.Τ. του Μ/Σ, το οποίο διακοπτικό στοιχείο ανήκει στο Χρήστη. Σε ιδιόζουσες περιπτώσεις, παλαιών ιδίως Χρηστών, υπάρχουν εξαιρέσεις από τον ως άνω κανόνα.

5.8.2 Σύνδεση Υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ με το Σύστημα

Κάθε νέα σύνδεση Χρήστη με το Σύστημα θα πραγματοποιείται πάντοτε με την παρεμβολή κυψέλης ή κυψελών Γ.Μ. Υ.Τ. με αυτόματο διακόπτη, που θα εγκαθίστανται από το Χρήστη με βάση τις υποδείξεις της ειδικής μελέτης που εκπονεί κάθε φορά ο ΔΕΣΜΗΕ, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΔΣ&ΣΗΕ (Κεφάλαια 58 και 59). Στο δε εξοπλισμό ζεύξης Υ.Τ. των νέων αυτών Υ/Σ θα πρέπει να προβλέπεται η δυνατότητα τηλεχειρισμού.

5.8.3 Διαμόρφωση Υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ εντός των Ορίων Ευθύνης του Χρήστη

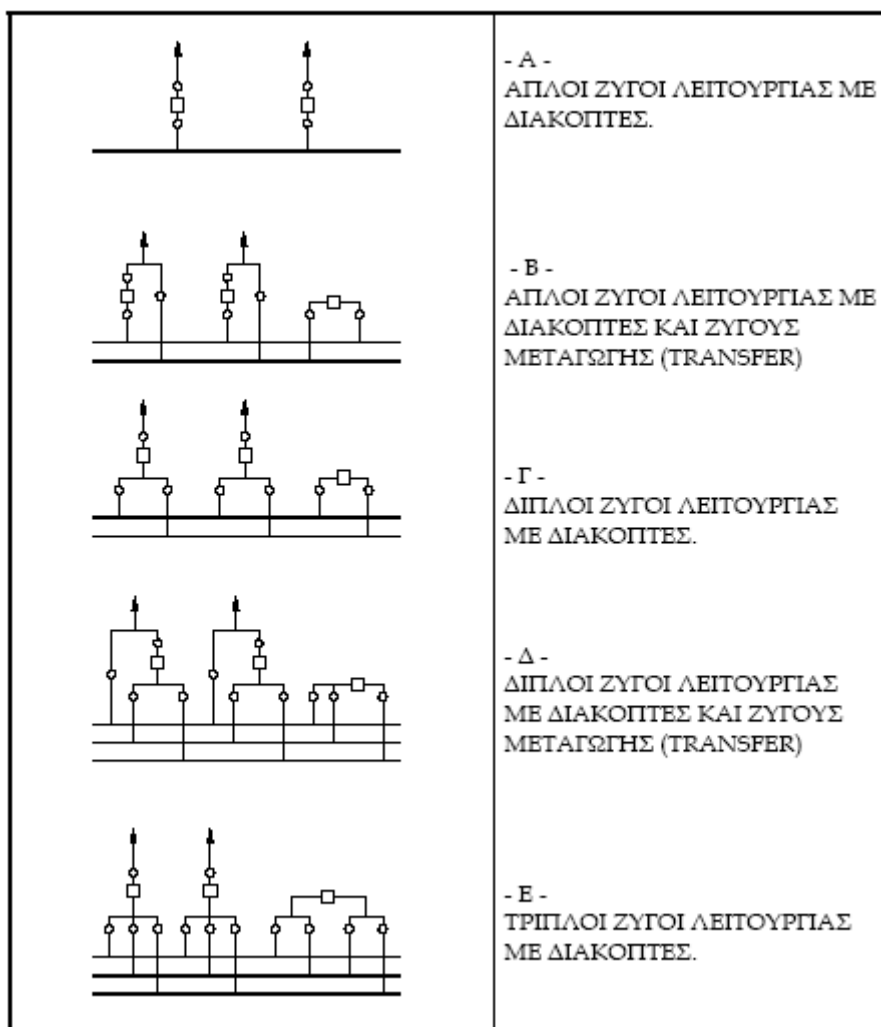
Η διαμόρφωση των ζυγών Μ.Τ. των Υ/Σ 150kV/Μ.Τ. είναι αποκλειστικά της αρμοδιότητας του Χρήστη. Ως εκ τούτου οι διατάξεις των ζυγών Μ.Τ. δεν φαίνονται στα μονογραμμικά διαγράμματα του επισυναπτόμενου στην παρούσα μελέτη τεύχους. Στα μονογραμμικά διαγράμματα σημειώνονται προσεγγιστικά οι ανάγκες σε κυψέλες αναχωρήσεως γραμμών Μ.Τ. στους Υποσταθμούς υποβιβασμού.

Οι Μ/Σ ισχύος των Υ/Σ ανήκουν επίσης στην αρμοδιότητα του χρήστη. Συνεπώς, η εκλογή του αριθμού και της ισχύος των εγκατεστημένων μετασχηματιστών στους Υποσταθμούς του Συστήματος είναι ευθύνη και αρμοδιότητα του Χρήστη (ΔΕΗ ή Ιδιώτης). Στα μονογραμμικά διαγράμματα σημειώνεται απλώς η ισχύς των Μ/Σ και η ομάδα ζεύξεως. Όπου δεν αναγράφεται η ομάδα ζεύξεως των Μ/Σ, αυτή είναι, για μεν τους Μ/Σ ανυψώσεως Yd1 για δε τους Μ/Σ υποβιβασμού Dy1.

5.8.4 Συγκρότηση Ζυγών Υ.Τ. (150 και 66kV) Υ/Σ

Διακρίνουμε τα ακόλουθα είδη συγκροτήσεως ζυγών Υ.Τ. στους υφιστάμενους Υ/Σ και ΚΥΤ:

- Απλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες (Σχήμα 8/Α).
- Απλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες και ζυγούς μεταγωγής (TRANSFER) (Σχήμα 8/Β).
- Διπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες (Σχήμα 8/Γ).
- Διπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες και ζυγούς μεταγωγής (TRANSFER) (Σχήμα 8/Δ).
- Τριπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες (Σχήμα 8/Ε).



Εικόνα 59 : Είδη συγκροτήσεως ζυγών Υ.Τ. στους Υ/Σ

Στους Υποσταθμούς όπου οι ζυγοί αποτελούν ή προορίζονται να αποτελέσουν μελλοντικά σημαντικούς κόμβους λειτουργίας του Συστήματος, επιβάλλεται από την αρχή η κατασκευή ή η πρόβλεψη δυνατότητας κατασκευής διπλών ή τριπλών ζυγών λειτουργίας, που σε συνδυασμό με μία ή δύο κυσέλες (με διακόπτες ζεύξεως ζυγών) επιτρέπουν:

- ευελιξία συνδυασμών διασυνδέσεως λειτουργίας.
- αυξημένες δυνατότητες εκτελέσεως συντηρήσεως και επισκευών.
- δυνατότητα κατανομής της συνδέσεως των γραμμών, των μετασχηματιστών και των μονάδων παραγωγής στους πολλαπλούς ζυγούς λειτουργίας, ώστε σε περιπτώσεις σφαλμάτων ζυγών τα στοιχεία των δικτύων που τίθενται εκτός τάσεως να περιορίζονται σημαντικά.
- μείωση της στάθμης βραχυκυκλώσεως κάτω από ορισμένες συνθήκες όπου αυτό είναι απαραίτητο.

- δυνατότητα αντικαταστάσεως κάτω από ορισμένες συνθήκες του διακόπτη οποιασδήποτε κυψέλης με ένα διακόπτη ζεύξεως ζυγών, μετά από διακοπή ή ακόμη χωρίς διακοπή, εφόσον προβλεφθεί από την αρχή κατάλληλη δυνατότητα.

Στους Υποσταθμούς, όπου οι ζυγοί δεν αποτελούν ή δεν προορίζονται να αποτελέσουν μελλοντικά σημαντικούς κόμβους λειτουργίας του Συστήματος, αρκεί η κατασκευή απλών ζυγών λειτουργίας με πρόβλεψη χώρου για δυνατότητα προσθήκης ζυγών μεταγωγής (TRANSFER). Στους παλαιούς Υ/Σ όπου έχουν χρησιμοποιηθεί έμβολα τεχνητού σφάλματος για την προστασία των Μ/Σ 150kV/Μ.Τ., γίνεται σταδιακά προσπάθεια αντικατάστασής τους με διακόπτες ισχύος.

Σε ειδικές περιπτώσεις Υ/Σ που συνδέονται απευθείας με Γ.Μ. μεγαλύτερης σημασίας, προβλέπεται από την αρχή η εγκατάσταση κυψέλης ζεύξεως με αυτόματο διακόπτη, το ίδιο δε προβλέπεται και στις ζεύξεις ακτινικών Γ.Μ. που τροφοδοτούν ένα ή δύο ακραίους Υ/Σ και συνδέονται προσωρινά στους ζυγούς των Υ/Σ χωρίς διακόπτες.

5.9 Κέντρα υπερυψηλής τάσης (ΚΥΤ)

Σε κάθε ΚΥΤ προβλέπεται γενικά εγκατάσταση τριπλών ζυγών λειτουργίας 400kV και 150kV. Ανάλογα με τις ανάγκες κατασκευάζονται αρχικά διπλοί ή τριπλοί ζυγοί λειτουργίας 400kV και 150kV. Τόσο οι ζυγοί των 400kV όσο και των 150kV μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με αντίστοιχους διακόπτες.

Στα αντίστοιχα φύλλα μονογραμμικών διαγραμμάτων σημειώνονται τόσο οι μακροχρόνιες προβλέψεις ΑΜ/Σ 400/150/30 kV και αναχωρήσεις γραμμών 400kV από το κάθε ΚΥΤ, όσο και οι βραχυπρόθεσμες προβλέψεις κατά την εξεταζόμενη πενταετή περίοδο. Σε αυτά περιλαμβάνονται και εύλογα ποσοστά εφεδρείας κυψελών γραμμών και ΑΜ/Σ.

Οι υπάρχοντες ΑΜ/Σ ισχύος 250 MVA ή 280 MVA (οι νεότεροι) και τάσεως 400/150/30 kV, είναι εφοδιασμένοι και με τριτεύον τύλιγμα τάσεως 30 kV ισχύος 60 MVA, πάνω στο οποίο συνδέονται οι απαιτούμενες αυτεπαγωγές για την αντιστάθμιση της παραγωγής της άεργης ισχύος των γραμμών 400kV. Οι αυτεπαγωγές αυτές έχουν ονομαστική ισχύ 50 MVAR και τάση 30 kV, συνδέονται δε προς τα τριτεύοντα των ΑΜ/Σ με διακόπτες 30 kV.

5.10 Γραμμές Μεταφοράς (Γ.Μ.) & καλώδια Υ.Τ.

5.10.1 Τυποποιημένα Είδη Εναέριων Γ.Μ.

Τα τυποποιημένα είδη εναέριων Γ.Μ. που χρησιμοποιούνται σήμερα στο Σύστημα είναι τα εξής:

Πίνακας 4: Τυποποιημένα Είδη Εναέριων Γ.Μ.

ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ (kV)	ΚΥΚΛΩΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ Γ.Μ.	ΑΡΙΘΜΟΣ & ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΝΑ ΦΑΣΗ (ΥΠΙΟΣ ACSR)	
			(MCM)	(mm ²)
66	ΑΠΛΟ	E/66	1 x 336,4	1 x 170
150	ΑΠΛΟ	E/150	1 x 336,4	1 x 170
150	ΑΠΛΟ	B/150	1 x 636,0	1 x 322
150	ΔΠΛΟ	2B/150	1 x 636,0	1 x 322
400	ΑΠΛΟ	B'B'/400	2 x 954,0	2 x 483
400	ΔΠΛΟ	2B'B'/400	2 x 954,0	2 x 483
400	ΑΠΛΟ	B'B'B'/400	3 x 954,0	3 x 483

Ο χαρακτηρισμός μίας γραμμής αφορά τον τύπο της γραμμής (ελαφρού ή βαρέος ή υπερβαρέος τύπου, E, B και B' αντίστοιχα), τον αριθμό των κυκλωμάτων (το 2 υποδηλώνει γραμμή διπλού κυκλώματος) ενώ το B'B' στον χαρακτηρισμό των γραμμών 400kV αναφέρεται στη χρησιμοποίηση 2 αγωγών, στερεωμένων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους ανά φάση (και κύκλωμα). Όλοι οι αγωγοί είναι τύπου ACSR, οι διατομές των αγωγών μεταφοράς εκφράζονται σε mil circular mils (MCM) σύμφωνα με την αμερικανική τυποποίηση και αναφέρονται στην επιφάνεια του Al της σύνθετης διατομής ACSR (1 MCM = 0,5067 mm²).

Εντός του χρονικού ορίζοντα της παρούσας ΜΑΣΜ, προβλέπεται η αναβάθμιση αριθμού Γ.Μ. E/150, η οποία συνίσταται στην αντικατάσταση του αγωγού ACSR διατομής 170 mm² με οπλισμένο σύνθετο αγωγό αλουμινίου της ίδιας διατομής (χαρακτηρισμός γραμμής Z/150). Αυτός ο αγωγός «νέου τύπου» έχει, συγκριτικά με τον πρώτο, μικρότερο βάρος και αυξημένο θερμικό όριο (βλ. επόμενη παράγραφο) για τις ίδιες διαστάσεις. Η αναβάθμιση, επομένως, των Γ.Μ. E/150 σε Z/150 μπορεί να γίνει με χρήση των υφισταμένων πύργων (άρα αποφεύγονται οι εξαιρετικά χρονοβόρες διαδικασίες αδειοδοτήσεων, απαλλοτριώσεων κλπ.) και τα βέλη κάμψης θα είναι ελαφρά μειωμένα. Η εφαρμογή αγωγών «νέου τύπου» δεν υποκαθιστά την ανάγκη για αναβάθμιση Γ.Μ. απλού κυκλώματος σε διπλό, διότι ο αγωγός αυτός, πέρα από την αντοχή σε μεγαλύτερη θερμική καταπόνηση, παρουσιάζει παρεμφερή ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (σύνθετη αντίσταση) με αυτόν που υποκαθιστά.

5.10.2 Θερμικό Όριο

Η μέγιστη ικανότητα μεταφοράς ισχύος Γ.Μ. σε συνθήκες συνεχούς κανονικής λειτουργίας ώστε η θερμική καταπόνηση των αγωγών από το φαινόμενο Joule να μη δημιουργεί κίνδυνο μείωσης της μηχανικής τους αντοχής, καλείται θερμικό όριο της Γ.Μ.

Ο πίνακας που ακολουθεί δίνει την τάξη μεγέθους του θερμικού ορίου υπό ονομαστική τάση σε MVA για τις γραμμές Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ. που υπάρχουν στο Σύστημα.

Πίνακας 5: Θερμικό Όριο Εναέριων Γ.Μ.

ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗ (kV)	ΚΥΚΛΩΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗ- ΡΙΣΜΟΣ Γ.Μ.	ΑΡΙΘ. & ΔΙΑΤ. ΑΓΩΓΩΝ/ΦΑΣΗ (ΥΠΗΘΣ ΑC5R) (MCM)	ΘΕΡΜ. ΟΡΙΟ ΥΠΟ ΟΝΟΜ. ΣΥΝΘΗΚΕΣ (MVA)	ΘΕΡΜ. ΟΡΙΟ ΥΠΟ ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (MVA)*
66	ΑΠΛΟ	Ε/66	1 x 336,4	60,5	36
150	ΔΠΛΟ	Ε/150	1 x 336,4	138	117
150	ΑΠΛΟ	Β/150	1 x 636,0	202	169
150	ΔΠΛΟ	2Β/150	1 x 636,0	2 x 202	2 x 169
400	ΑΠΛΟ	Β Β'/400	2 x 954,0	1400	1100
400	ΔΠΛΟ	2Β Β'/400	2 x 954,0	2 x 1400	2 x 1100
400	ΔΠΛΟ	Β Β' Β'/400	3 x 954,0	2000	1600

* Μείωση του ονομαστικού ορίου κατά 20% περίπου σε περίπτωση θερμοκρασίας περιβάλλοντος 40 °C και πλήρους άπνευσης

Το θερμικό όριο της Γ.Μ. Ζ/150 με οπλισμένο σύνθετο αγωγό αλουμινίου διατομής 170 mm² (βλ. προηγούμενη παράγραφο) εκτιμάται σε 240 MVA περίπου υπό ονομαστικές συνθήκες και σε 223 MVA περίπου υπό δυσμενείς συνθήκες. Στην αγορά υπάρχουν διαθέσιμοι αγωγοί «νέου τύπου» με θερμικό όριο μεγαλύτερο του πιο πάνω. Η χρησιμοποίησή τους όμως δεν αυξάνει δραστικά την ικανότητα μεταφοράς στο Σύστημα λόγω:

- των περιορισμών που επιβάλλονται από τον υφιστάμενο εξοπλισμό 150 kV των Υ/Σ (αποζεύκτες, διακόπτες, ζυγοί κλπ.),
- της αύξησης των θερμικών απωλειών, αλλά και
- της αμελητέας συνεισφοράς στις παρατηρούμενες πτώσεις τάσης, δεδομένου ότι η επαγωγική αντίδραση δεν μειώνεται εφόσον χρησιμοποιούνται οι ίδιοι πυλώνες.

5.10.3 Χαρακτηριστικά Καλωδιακών Γ.Μ.

Στο Σύστημα υπάρχουν οι παρακάτω τύποι υποβρυχίων καλωδίων Υ.Τ., η διαχείριση των οποίων ανήκει στην αρμοδιότητα του ΔΕΣΜΗΕ:

- Τριπολικά καλώδια 66kV, διατομής 300 mm² χαλκού, ισχύος 60 MVA
- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 240 mm² χαλκού, ισχύος 125 MVA
- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 300 mm² χαλκού, ισχύος 125 MVA
- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 630 mm² χαλκού, ισχύος 185 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 66kV, διατομής 150 mm² αλουμινίου, τριφασικής ισχύος 35 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 240 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 125 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 250 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 175 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 300 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 125 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 400 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 175 MVA

Στο Σύστημα υπάρχουν επίσης οι παρακάτω τύποι υπογείων καλωδίων 150kV για τη μεταφορά ισχύος κατά κύριο λόγο μέσα στις κατοικημένες περιοχές της Πρωτεύουσας και της Θεσσαλονίκης:

- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 800 mm² χαλκού, ισχύος 175 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 200 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 125 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 250 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 125 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 300 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 125 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 400 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 175 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 500 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 200 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 650 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 200 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 800 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 175 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 600 mm² αλουμινίου, τριφασικής ισχύος 200 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 700 mm² αλουμινίου, τριφασικής ισχύος 200 MVA

- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 800 mm² αλουμινίου, τριφασικής ισχύος 200 MVA

Η αρμοδιότητα για τη διαχείριση των περισσοτέρων υπογείων καλωδίων στην περιοχή Αττικής ανήκει στο Διαχειριστή Δικτύου. Οι καλωδιακές Γ.Μ. της περιοχής Θεσσαλονίκης είναι, προς το παρόν, της αρμοδιότητας του ΔΕΣΜΗΕ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- <http://atlaswikigr.wikifoundry.com/page/%CE%95%CE%9D%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%9A%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%A3+%CE%A0%CE%97%CE%93%CE%95%CE%A3+%CE%97%CE%9B%CE%95%CE%9A%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A5>
- <http://www.tutorvista.com/content/science/science-ii/magnetic-effects-electric-current/mapping-magnetic-lines.php#>
- <http://forum.allaboutcircuits.com/showthread.php?t=73640>
- <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Physics/CoilField.htm>
- <http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/mu/>
- <http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/mu/>
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82>
- <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/omilos-dei-ae/dei-ae>
- <http://left.gr/news/istoriki-anadromi-o-ilektrismos-stin-ellada>
- <http://left.gr/news/istoriki-anadromi-o-ilektrismos-stin-ellada#sthash.UCvEdDpQ.dpuf>
- <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/paragwgi>
- <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/paragwgi/analutikos-xartis-stathmwn>
- <http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/dedomena-stoicheia-systimatos/perigrafi-systimatos-metaforas/>