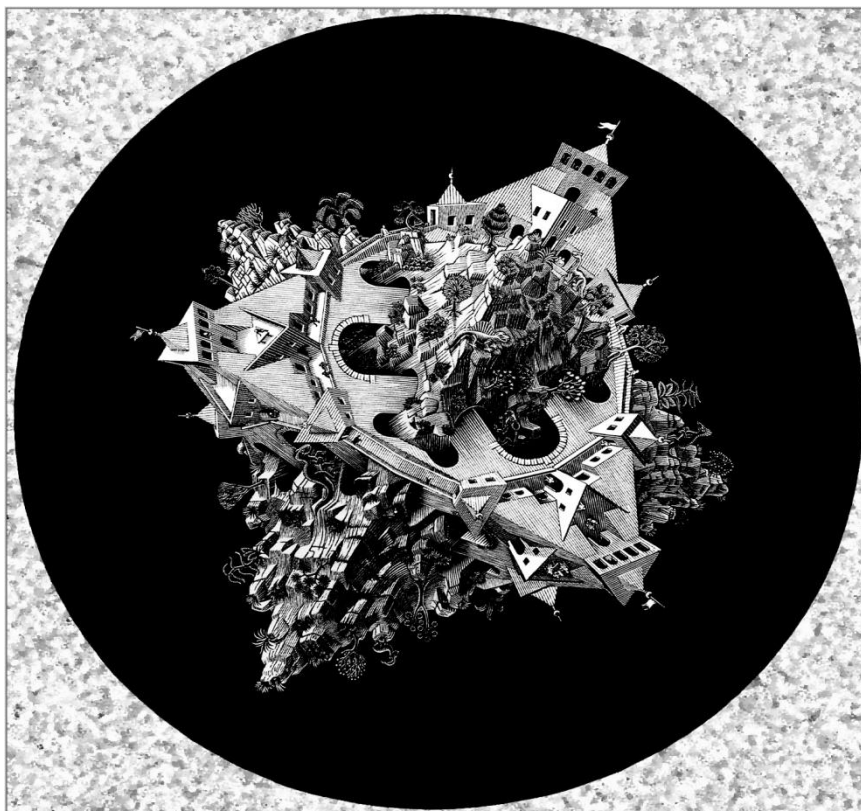




## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Σ.Α.Ε για την αδιάλειπτη ηλεκτροδότηση οικίας  
μέσω Α.Π.Ε.**



Σπουδαστής  
Μαλτέζος Ηλίας  
Α.Μ. 34626

Υπεύθυνος Καθηγητής:  
Ψαρομήλιγκος Π Ιωάννης

Επιβλέπων Καθηγητής:  
Ευάγγελος Χ. Παπακίτσος

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή πραγματοποιήθηκε με γνώμονα τον αυτόματο έλεγχο μιας ή περισσοτέρων Α.Π.Ε. με στόχο να μπορεί να υλοποιηθεί σε μια οποιαδήποτε σύγχρονη οικία καλύπτοντας πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες μιας μέσης οικογένειας.

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζεται ένα μεγάλο μέρος των Α.Π.Ε. που είναι ευρέως διαδεδομένες στον κόσμο, καθώς και καινοτόμες εναλλακτικές ενεργειακές κατασκευές που μπορούν να αντικαταστήσουν τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες και να εφαρμοστούν σε περιοχές με διαφορετικά κριτήρια από τα συνηθισμένα (ηλιοφάνεια, αιολική παροχή, κλπ). Παρουσιάζονται επίσης διάφοροι τρόποι σύνδεσης συσσωρευτών για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας καθώς και μετατροπή της συγκεκριμένης τάσης σε εναλλασσόμενη προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις οικιακές συσκευές που περιέχονται σε μια οικία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δάσκαλό μου Ευάγγελο Χ. Παπακίτσο για την επίβλεψη της εργασίας μου, καθώς και για το πλήρες υλικό που με τροφοδοτούσε προκειμένου να παρουσιαστούν λεπτομερώς οι παρακάτω τεχνολογικές μέθοδοι. Επίσης ευχαριστώ πολύ τον φίλο μου Πέτρο Σαββίδη για την καταλυτική του βοήθεια σε ότι αφορά τα φίλτρα και τις γνώσεις του που κατέστησαν δυνατό αυτό το έργο και του εύχομαι καλή σταδιοδρομία. Τέλος ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου που με στήριζε σε κάθε μου βήμα.

Ηλίας Α. Μαλτέζος

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΜΕΡΟΣ Α ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	6
2. Η ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
2.1. Το ηλεκτρικό ρεύμα στην Ελλάδα.....	11
2.2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	13
2.3. Μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	14
3. ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	15
3.1. Πηγές ενέργειας.....	16
3.1.1. Ορυκτά καύσιμα	
3.1.2. Πυρηνική ενέργεια	
3.1.3. Ανανεώσιμη ενέργεια.....	17
3.1.4. Υδροηλεκτρική ενέργεια	
3.1.5. Βιομάζα και βιοκαύσιμα	
3.1.6. Αιολική ενέργεια	
3.1.7. Ηλιακή ενέργεια.....	18
3.1.8. Γεωθερμική ενέργεια	
3.2. Ενέργεια ανά χώρα	
3.3. Ενέργεια ανά τομέα.....	19
4. ΚΑΥΣΙΜΕΣ ΥΛΕΣ	
4.1. Άνθρακας.....	20
4.2. Πετρέλαιο	
4.3. Βιωσιμότητα.....	21
4.4. Πυρηνική ενέργεια.....	22
4.4.1. Πυρηνική σχάση	
4.4.2. Πυρηνική σύντηξη	
5. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
5.1. Ηλιακή ενέργεια.....	23
5.2. Αιολική ενέργεια	
5.3. Κυματική και παλιρροιακή ενέργεια	
5.4. Γεωθερμική ενέργεια.....	24
5.5. Βιομάζα	
5.6. Υδροηλεκτρισμός.....	25
5.7. Εναλλακτικές ενεργειακές μέθοδοι	

## ΜΕΡΟΣ Β ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

<b>1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	
<b>1.1. Φωτοβολταϊκό στοιχείο</b> .....	27
<b>1.2. Ημιαγωγοί Φωτοβολταϊκών</b> .....	29
<b>1.3. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο</b> .....	31
<b>1.4. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών</b> .....	32
<b>1.5. Φωτοβολταϊκά πλαίσια</b> .....	36
<b>2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</b> .....	38
<b>2.1. Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα</b>	
<b>2.2. Ανεμογεννήτριες</b> .....	39
<b>2.2.1. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα</b>	
<b>2.2.2. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα</b> .....	41
<b>2.2.3. Καμπύλη ισχύος α/γ (power curve) και πιστοποίηση</b>	
<b>2.2.4. Επιλογή κλάσης ανεμογεννήτριας</b> .....	44
<b>2.2.5. Το μέλλον των ανεμογεννητριών</b> .....	45
<b>3. Ο ΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΜΟΡΦΟΤΡΟΠΕΑΣ</b> .....	46
<b>3.1. Εισαγωγικά</b> .....	47
<b>3.2. Μέθοδοι και αποτελέσματα</b> .....	48
<b>3.3. Μελέτη</b> .....	49
<b>4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ (ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ)</b> .....	53
<b>4.1. Γενικά Χαρακτηριστικά</b>	
<b>4.1.1. Τι είναι μια μπαταρία</b>	
<b>4.1.2. Μπαταρίες μολύβδου κλασικές</b> .....	54
<b>4.1.3. Μπαταρίες χωρίς συντήρηση ή με μικρή συντήρηση</b>	
<b>4.1.4. Μπαταρίες αυτοκινήτου</b>	
<b>4.1.5. Κυκλικές μπαταρίες</b>	
<b>4.2. Αριθμοί που υπάρχουν στις μπαταρίες</b> .....	55
<b>4.3. Γιατί μια μπαταρία καταστρέφεται ή γερνάει</b>	
<b>4.3.1. Αιτίες που καθιστούν μια μπαταρία άχρηστη</b>	
<b>4.3.2. Έλεγχος και διάγνωση κατάστασης μπαταρίας</b>	
<b>4.4. Φόρτιση</b> .....	56
<b>4.4.1. Διαδικασία της φόρτισης</b>	
<b>4.4.2. Πως θα διαπιστώσουμε πόσο γεμάτη είναι η μπαταρία μας</b>	
<b>4.5. Καλή χρήση της μπαταρίας</b> .....	57
<b>4.6. Σύνδεση περισσότερων μπαταριών</b>	
<b>4.6.1. Σύνδεση παράλληλη ή εν σειρά</b> .....	58
<b>4.7. Ανακεφαλαίωση</b> .....	60

## **ΜΕΡΟΣ Γ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ Α.Π.Ε. ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

<b>1. ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....</b>	<b>62</b>
<b>1.1. Παραδείγματα υβριδικής ενέργειας</b>	
<b>1.2. Χρήσεις υβριδικής ενέργειας.....</b>	<b>63</b>
<b>1.3. Εξαρτήματα Υβριδικών συστημάτων ενέργειας</b>	
<b>2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΜΟΡΦΟΤΡΟΠΕΑ.....</b>	<b>64</b>
<b>2.1. Μελέτη ηλεκτρικού πυραμιδικού μορφοτροπέα</b>	
<b>3. ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....</b>	<b>68</b>
<b>3.1. Χρήση συσσωρευτών</b>	
<b>3.2. Μια διαφορετική λύση</b>	

## **ΜΕΡΟΣ Δ ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**

<b>1. ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>69</b>
<b>1.1. Φάση πρώτη. Φόρτιση πρώτης συστοιχίας, εκφόρτιση δεύτερης.....</b>	<b>70</b>
<b>1.2. Φάση δεύτερη. Φόρτιση δεύτερης συστοιχίας εκφόρτιση πρώτης.....</b>	<b>71</b>
<b>2. ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ.....</b>	<b>72</b>
<b>2.1. Παλινδρομικό σύστημα</b>	
<b>2.2. Περιστροφικό σύστημα διακοπών.....</b>	<b>73</b>
<b>3. ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ.....</b>	<b>75</b>

## **ΜΕΡΟΣ Ε ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΟΙΚΙΑΣ (ΦΟΡΤΙΟΥ)**

<b>1. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....</b>	<b>76</b>
<b>2. ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....</b>	<b>77</b>
<b>3. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ – ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.....</b>	<b>78</b>
<b>3.1. Μεταγωγικός διακόπτης γεννήτριας με ελεγκτή</b>	
<b>3.2. Συνεργασία Ηλεκτροκινητήρα (Η/Κ) και Ηλεκτρογεννήτριας (Η/Γ) για τροφοδότηση φορτίου.....</b>	<b>79</b>
<b>4. ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTERS)</b>	
<b>4.1. Κατηγορίες αναστροφών.....</b>	<b>80</b>
<b>4.1.1. Αναστροφείς τροποποιημένου ημιτόνου</b>	
<b>4.1.2. Αναστροφείς καθαρού ημιτόνου</b>	
<b>4.1.3. Αναστροφείς διασυνδεδεμένων συστημάτων</b>	
<b>4.2. Συνεργασία αναστροφών για την τροφοδότηση φορτίου.....</b>	<b>81</b>
<b>5. ΦΙΛΤΡΑ.....</b>	<b>82</b>
<b>5.1. Παθητικά φίλτρα</b>	
<b>5.2. Εισαγωγή στον τρόπο λειτουργίας ενός ενεργού φίλτρου.....</b>	<b>83</b>
<b>5.3. Ομαδοποίηση των ενεργών φίλτρων</b>	

## ΜΕΡΟΣ ΣΤ. ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1. ΤΟ RLC ΚΥΚΛΩΜΑ.....	85
2. $F_o$ ΚΑΙ $Q$ .....	86
2.1. Ζωνοδιαβατά φίλτρα.....	88
3. ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ MATLAB.....	89
4. ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ.....	91
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	92
5.1. Επιτακτική η χρήση των Α.Π.Ε.	
5.2. Συσσώρευση της παραγόμενης ενέργειας	
5.3. Χρήση της παραγόμενης ενέργειας	
6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	93

## A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ενέργεια νοείται ως η ικανότητα για την παραγωγή έργου. Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό απαιτείται ενέργεια ως φυσικός νόμος για την ύπαρξη και την ανάπτυξη της ζωής. Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί και να αλλάζει μορφές από μία μορφή σε μία άλλη. Στην τεχνολογία γίνεται αντιληπτή όταν μεταφέρεται από ένα φυσικό σύστημα σε ένα άλλο, για παράδειγμα όταν η κινητική ενέργεια του ανέμου κινεί μία ανεμογεννήτρια. Ειδικότερα η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί τη βάση του σύγχρονου πολιτισμού μας τόσο οικονομικά αλλά όσο και βιοτικά. Όλα τα τεχνολογικά επιτεύγματα που κάνουν τη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου ευκολότερη, απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία τους, από τις πιο απλές συσκευές μέχρι τις εταιρίες που εργάζονται καθημερινά οι πολίτες ως ακόμα και τις υπερμεγέθεις μηχανές εργοστασίων παραγωγής. Η εξάρτηση του ανθρώπου σήμερα από την ηλεκτρική ενέργεια είναι τόσο μεγάλη που σε κάθε διακοπή ηλεκτρικής ενέργειας, αν και σπάνια πλέον, οι πολίτες δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις βασικότερες ανθρώπινες ανάγκες στα διαμερίσματά τους. Γι' αυτόν τον λόγο οι κυβερνήσεις κάθε χώρας έχουν σαν πρώτο μέλημά τους την παραγωγή, την εξοικονόμηση και τη διάθεση ενέργειας.

### 2. Η ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα, που αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού. Όταν γίνεται χρήση του ηλεκτρισμού η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας π.χ. σε κινητική ενέργεια όταν λειτουργεί ένας κινητήρας ή σε φως όταν ανάβει ένας λαμπτήρας [2].

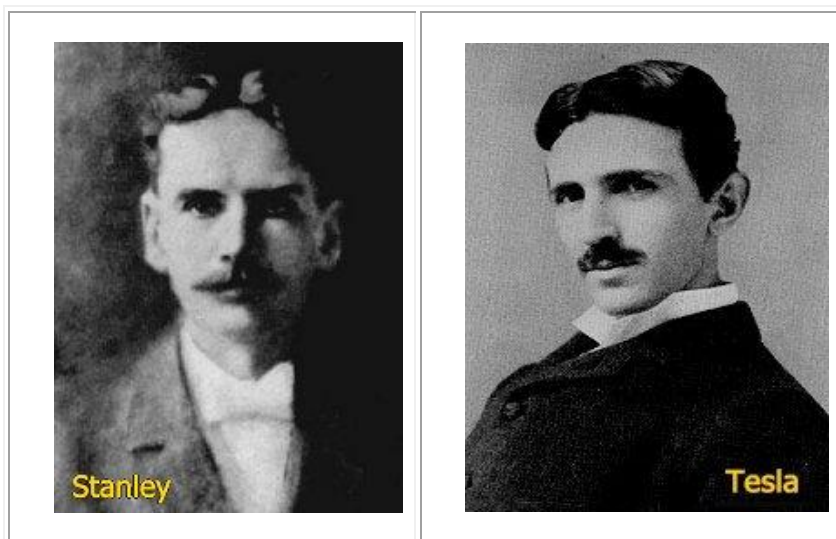
Σήμερα γνωρίζουμε τη μεγάλη σημασία της ηλεκτρικής ενέργειας για την ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνίας σε όλες τις χώρες του κόσμου. Η ηλεκτρική ενέργεια χαρακτηρίζεται από οικονομικότητα, μεγάλη ασφάλεια, υψηλή ποιότητα και ήπια συμπεριφορά στο περιβάλλον κατά την κατανάλωσή της. Αυτές οι αντιλήψεις 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 [3].

Σύμφωνα με περαιτέρω ιστορικές πληροφορίες που μας δίνει ο καθηγητής Στυλ.Γ. Φραγκόπουλος [3], 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, η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εγκαταστάθηκε στη Στουτγάρδη 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 κάποιους 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.

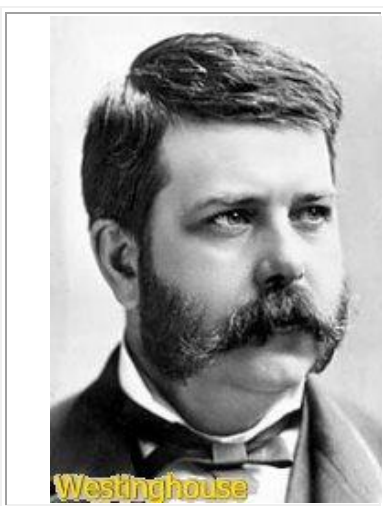
Το έτος 1885 κατασκεύασε ο William Stanley (Στάνλυ, 1858-1916), υπάλληλος της εταιρίας Westinghouse, ένα επαγωγικό πηνίο ή όπως λέμε σήμερα, ένα μετασχηματιστή ισχύος, με τον οποίο μετέβαλε κατ' επιθυμία την εναλλασσόμενη τάση. Με την αξιοποίηση του μετασχηματιστή ήταν προφανές ότι θα επικρατούσε οριστικά 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 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 τρενών, εγκαθιστά 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 είχαν 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. 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 στο 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 για το «απορριπτέο» ρεύμα του Westinghouse υπάρχει ο μετασχηματιστής του Στάνλυ που αξιοποιείται στο ΕΡ και είναι υπεύθυνος για τις υψηλές τάσεις και... τις ηλεκτροπληξίες.

Λίγα χρόνια μετά ο Edison συνέδεσε 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 ΕΡ, 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 ΕΡ 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 μεγάλων 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 το 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. Ο Tesla είχε κατασκευάσει μία «μηχανή επαγωγής», μια επαναστατική επινόηση, 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.

Αντίθετα, ο Edison έπρεπε 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 επίδειξή του έγινε με τη θανάτωση ενός αλόγου. Σε όλες αυτές τις (εγκληματικές) επιδείξεις χρησιμοποιείται 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»).

Παρ' όλες τις αντιδράσεις και τις δυσφημήσεις, η τεχνολογική και οικονομική πραγματικότητα υπερνικά: μέσα σε δύο χρόνια ολοκληρώνει ο Westinghouse περισσότερες 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 αυτή 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 καθηλώθηκε 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.

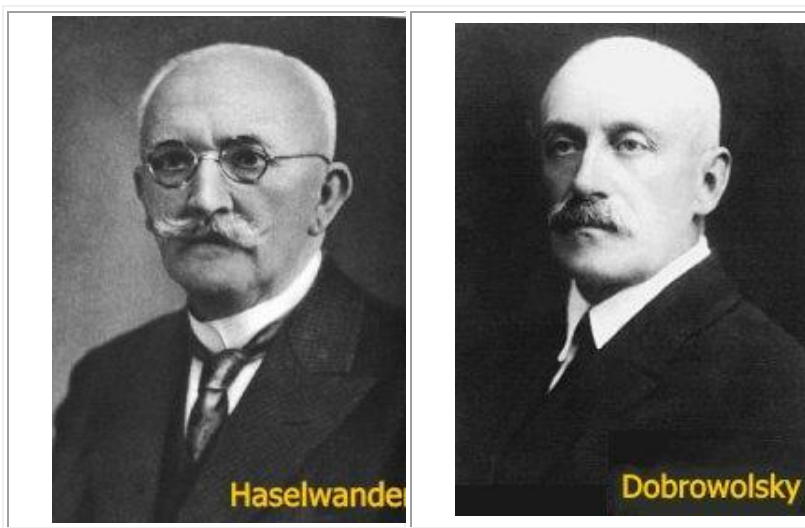
Το έτος 1886 κατασκευάστηκε στη Γερμανία μια τριφασική γραμμή που τροφοδοτείται από 3 μονοφασικούς κινητήρες και ένα χρόνο μετά κατασκεύασε ο Friedrich August Haselwander (Χάζελβάντερ, 1851-1929) την πρώτη τριφασική γεννήτρια (σύγχρονη μηχανή). Αξιοποιώντας τα πειράματα διαφόρων ερευνητών, ο Ρωσσο-Γερμανός Michael Dolivo-Dobrowolsky (Ντομπροβόλσκυ, 1862-1919) κατασκεύασε 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 βαθμό αποδόσεως 70%. Το έτος 1893, η εταιρία Westinghouse τροφοδοτούσε περί τους 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.

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.

## **2.1. Το ηλεκτρικό ρεύμα στην Ελλάδα.**

Στην Ελλάδα, το ηλεκτρικό ρεύμα ήρθε για πρώτη φορά το 1889, σύμφωνα με πληροφορίες που μας δίνει η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (Δ.Ε.Η.) [1]. Η ιστορική αναδρομή που μας δίνει η Δ.Ε.Η γνωστοποιεί πως η Γενική Εταιρεία Εργοληπιών, 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 τροχοδρόμηση 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 εταιρίες 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.

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.

Από 1.1.2001 λειτουργεί ως ανώνυμη εταιρεία ενώ από 12.12.2001 έχει εισαχθεί στα Χρηματιστήρια Αξιών Αθηνών και Λονδίνου. Κατέχει πάνω από το 90% της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος στην Ελλάδα (12.840 MW), η οποία προέρχεται από λιγνιτικές, υδροηλεκτρικές, πετρελαϊκές μονάδες, μονάδες φυσικού αερίου καθώς και από αιολικά και ηλιακά πάρκα. Παράγει από λιγνίτη πάνω από το 50% περίπου της ηλεκτρικής της παραγωγής (2ος μεγαλύτερος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση).

Έχει στην ιδιοκτησία της το εθνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μήκους 12.000 χλμ. καθώς και το δίκτυο διανομής συνολικού μήκους 220.000

χλμ. και 7,6 εκατομμύρια πελάτες.

## 2.2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [4] είναι η διαδικασία δημιουργίας ηλεκτρισμού από άλλες μορφές ενέργειας. Οι θεμελιώδεις αρχές της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανακαλύφθηκαν στα μέσα του 1820 και στις αρχές του 1830 από τον βρετανό επιστήμονα Michael Faraday. Η βασική του μέθοδος χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα: ο ηλεκτρισμός παράγεται από την κίνηση ενός βρόχου καλωδίου ή ορειχάλκινου δίσκου μέσα από τους πόλους ενός μαγνήτη.

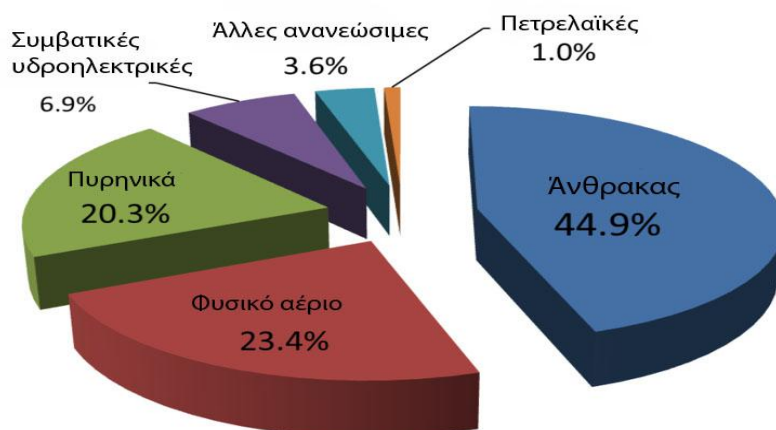
Για τις ηλεκτρικές επιχειρήσεις, αυτή είναι η πρωταρχική διαδικασία παράδοσης ηλεκτρισμού στους καταναλωτές. Οι άλλες διαδικασίες, μετάδοση ηλεκτρισμού, διανομή και ηλεκτρική αποθήκευση – ανάληψη με τη χρήση μεθόδων αντλιών αποθήκευσης, συνήθως διεξάγονται από την ηλεκτρική βιομηχανία.

Ο ηλεκτρισμός συνήθως παράγεται σε ένα σταθμό παραγωγής από ηλεκτρομηχανικές γεννήτριες, πρωταρχικά καθοδηγούμενες από μηχανές παραγωγής θερμότητας, τροφοδοτούμενες από χημικές αναφλέξεις ή πυρηνικές σχάσεις. Ωστόσο χρησιμοποιούνται και άλλα μέσα όπως η κινητική ενέργεια της ροής του νερού ή του αέρα (αιολική ενέργεια). Υπάρχουν και αρκετές άλλες τεχνολογίες που υπάρχουν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρισμού όπως τα ηλιακά φωτοβολταϊκά και η γεωθερμική ενέργεια.

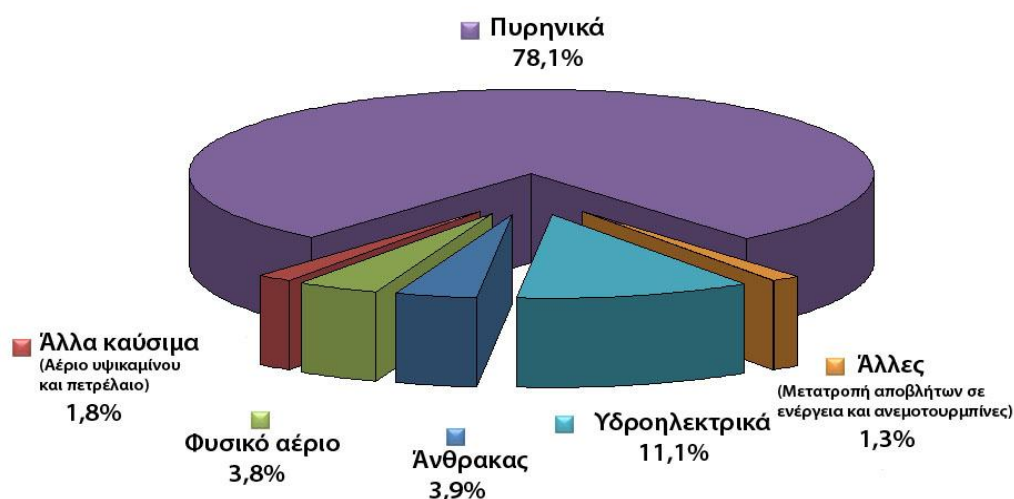
Η κεντρική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έγινε εφικτή όταν ανακαλύφθηκε ότι μεταβάλλοντας τις γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να μεταφερθεί ηλεκτρισμός με πολύ χαμηλό κόστος σε μεγάλες αποστάσεις, εκμεταλλευόμενοι την δυνατότητα αυξομείωσης της τάσης χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές.

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε σταθμούς από το 1881. Τα πρώτα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας ήταν υδροηλεκτρικά ή χρησιμοποιούσαν άνθρακα. Σήμερα βασίζομαστε περισσότερο στον άνθρακα, στην πυρηνική ενέργεια, στο φυσικό αέριο, στις υδροηλεκτρικές εφαρμογές και φυσικά στο πετρέλαιο. Επίσης παράγεται ηλεκτρισμός από ένα μικρό ποσοστό ηλιακής ενέργειας, σταθμούς που εκμεταλλεύονται τα παλιρροιακά κύματα, ανεμογεννήτριες και γεωθερμικές πηγές. Στα παρακάτω γραφήματα φαίνονται ενδεικτικά τα ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και στη Γαλλία, τα έτη 2009 και 2006 αντιστοίχως.

2009 Η.Π.Α. Πηγές Παραγωγής ηλεκτρισμού



## 2006 Γαλλία Πηγές Παραγωγής ηλεκτρισμού



### 2.3. Μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπάρχουν επτά θεμελιώδεις μέθοδοι άμεσης μετατροπής άλλων μορφών ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια:

- Στατικός ηλεκτρισμός, από το φυσικό διαχωρισμό και μεταφορά φορτίου (φαινόμενο ηλεκτρισμού μέσω τριβής και κεραυνός).
- Ηλεκτρομαγνητικό αξίωμα, όπου μια ηλεκτρική δράση, δυναμό ή μια γεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος, μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρισμό.
- Ηλεκτροχημεία, η οποία είναι η άμεση μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό όπως στις μπαταρίες, σε μια κυψέλη καυσίμου ή και ακόμα στο δυναμικό ενέργειας που αναπτύσσεται σε νευρικά κύτταρα του ανθρώπινου σώματος.
- Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, όπου η μετατροπή φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια όπως στις ηλιακές κυψέλες.
- Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, είναι η άμεση μετατροπή της διαφοράς θερμοκρασίας σε ηλεκτρισμό, όπως ακριβώς συμβαίνει στα θερμοζεύγη, θερμικές πύλες και στους θερμοϊονικούς μετατροπείς.
- Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο το οποίο προκύπτει από το μηχανικό δεσμό ηλεκτρικών ανισότροπων μορίων ή κρυστάλλων.
- Πυρηνικός μετασχηματισμός ο οποίος δίνει ηλεκτρική ενέργεια από τη δημιουργία και επιτάχυνση φορτισμένων σωματιδίων (βηταβολταϊκά ή εκπομπή άλφα σωματιδίων).

Ο στατικός ηλεκτρισμός ήταν η πρώτη μορφή που ανακαλύφθηκε και ερευνήθηκε, καθώς η αρχή της ηλεκτροστατικής γεννήτριας χρησιμοποιείται ακόμα σε σύγχρονες συσκευές όπως η γεννήτρια Van de Graaff και οι γεννήτριες MHD. Τα ηλεκτρόνια διασπώνται μηχανικά και εκτοπίζονται προκειμένου να αναπτυχθεί το δυναμικό τους.

Σχεδόν όλη η εμπορικά εκμεταλλεύσιμη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή κατά την οποία η μηχανική ενέργεια αναγκάζει μια ηλεκτρική γεννήτρια να περιστραφεί. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ανάπτυξης μηχανικής ενέργειας συμπεριλαμβανομένων των θερμικών μηχανών, υδραυλικών, αιολικών αλλά ακόμα και από την εκμετάλλευση παλιρροιακών δυνάμεων.

Η άμεση μετατροπή πυρηνικής ενέργειας σε ηλεκτρική από την διάσπαση βήτα χρησιμοποιείται σε μικρό ποσοστό. Σε ένα πυρηνικό εργαστήριο πλήρους κλίμακας,

η θερμότητα της πυρηνικής αντίδρασης χρησιμοποιείται για την λειτουργία μιας θερμικής μηχανής η οποία κινητοποιεί μια γεννήτρια μετατρέποντας τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική από μαγνητική επαγωγή.

Το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από τις θερμικές μηχανές. Η ανάφλεξη των ορυκτών παρέχει την περισσότερη θερμότητα σε αυτές τις μηχανές, καθώς επίσης από ένα σημαντικό ποσοστημόριο πυρηνικής σχάσης και κάποιο μέρος από τις ανανεώσιμες πηγές. Η σύγχρονη τουρμπίνα ατμού η οποία εφευρέθηκε από τον Sir Charles Parsons στα 1884, σήμερα αποφέρει περίπου 80 τοις εκατό της ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως χρησιμοποιώντας διάφορες πηγές θερμότητας.

### 3. ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το 2008 η συνολική κατανάλωση ενέργειας ήταν 474 exajoules ( $474 \times 10^{18}$  J) με το 80 προς 90% προερχόμενο από την καύση ορυκτών. Αυτό είναι ισοδύναμο προς μια μέση κατανάλωση ενέργειας ύψους 15 terawatts ( $15 \times 10^{12}$  W). Όλες οι οικονομίες δεν μετράνε την κατανάλωση ενέργειας τους με τα ίδια σταθμά εφόσον το ακριβές ενεργειακό περιεχόμενο ενός βαρελιού πετρελαίου ή ενός τόνου άνθρακα ποικίλλει ως προς την ποιότητα.

Το 2009 η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε για πρώτη φορά στα 30 χρόνια (-1,1%) ή 130 Mtoe, ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης (Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν ή ΑΕΠ μειώθηκε κατά 0,6% το 2009). Αυτή η εξέλιξη είναι το αποτέλεσμα δύο αντιφατικών τάσεων. Η άνοδος της ενεργειακής κατανάλωσης συνεχίστηκε σθεναρά σε αρκετές υπό ανάπτυξη χώρες, ειδικά στην Ασία (+4%). Αντιστρόφως, στον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Ο.Ο.Σ.Α., αγγλ. Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD), η κατανάλωση μειώθηκε σφοδρά κατά 4,7% το 2009 και έτσι σημείωσε πτώση κατά 2000 μονάδες. Στη Νότια Αμερική, Ευρώπη καθώς και στα κράτη της πρώην Σοβιετικής Ένωσης (CIS), οι καταναλώσεις ενέργειας μειώθηκαν κατά 4,5%, 5% και 8,5% αντιστοίχως λόγω της καθυστέρησής τους στην οικονομική δραστηριότητα. Η Κίνα είχε παγκοσμίως την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας (18% από τη συνολική) εφόσον η ανάγκη της διακυμάνθηκε κατά 8% το 2009 (από 4% που ήταν το 2008). Το πετρέλαιο παρέμεινε η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας (33%) παρόλο που η συνεισφορά του μειώνεται κατά περιόδους. Ο άνθρακας έπαιξε εντεινόμενο ρόλο στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας: το 2009, αντιστοιχούσε στο 27% του συνόλου.

Οι περισσότερες από τις παγκόσμιες ενεργειακές πηγές προέρχονται από τις ηλιακές ακτίνες που καταλήγουν στη γη. Μερική από αυτήν την ενέργεια διατηρείται ως καύσιμη ενέργεια, κάποια από αυτή είναι προς άμεση ή έμμεση χρήση. Παραδείγματα αποτελούν αιολικές, υδραυλικές ή κυματικές ενέργειες. Ο όρος ηλιακή σταθερά είναι το ποσό της εισερχόμενης ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά μονάδα περιοχής, μετριέται στην εξωτερική περιοχή της γήινης ατμόσφαιρας, σε ένα κάθετο επίπεδο προς τις ακτίνες. Η ηλιακή σταθερά περιλαμβάνει όλους τους τύπους ηλιακής ακτινοβολίας, όχι μόνο το ορατό φως. Μετριέται μέσω δορυφόρου και υπολογίζεται περίπου στα 1366 watts ανά τετραγωνικό μέτρο ( $W/m^2$ ), αν και κυμαίνεται περίπου 6,9% κατά τη διάρκεια ενός έτους, από  $1412 W/m^2$  στις αρχές του Ιανουαρίου μέχρι  $1321 W/m^2$  στις αρχές του Ιουλίου, λόγω της μεταβαλλόμενης απόστασης της γης από τον ήλιο, καθώς και από κάποιο ποσοστό τοις χιλίοις από μέρα σε μέρα. Για ολόκληρη τη γη, υπό ένα διασταυρωμένο τομέα  $127.400.000 km^2$ , η συνολική βαθμίδα της ενέργειας είναι 174 petawatts ( $174 \times 10^{15}$  W) συν – πλην



3,5%. Αυτός ο αριθμός είναι ο συνολικός δείκτης της ηλιακής ενέργειας που δέχεται ο πλανήτης, ενώ περίπου το μισό (89 PW) φτάνει στην επιφάνεια της γης.

Οι εκτιμήσεις των εναπομενουσών μη ανανεώσιμων πηγών παγκόσμιας ενέργειας ποικίλουν, με τις υπόλοιπες καύσιμες ύλες να συμπληρώνουν μια εκτίμηση της τάξης των 0,4 YJ (1YJ=  $10^{24}$  J) και τα διαθέσιμα πυρηνικά καύσιμα όπως το ουράνιο να υπερβαίνει τα 2,5YJ. Οι καύσιμες ύλες εκτείνονται σε εύρος 0,6-3 YJ αν οι εκτιμήσεις των αποθεμάτων μεθανίου είναι ακριβείς και μπορούν να εξορυχτούν τεχνικά. Κυρίως λόγω του ήλιου, ο κόσμος έχει μια ρευστή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας προς χρήση, η οποία υπερβαίνει τα 120PW (8000 ισούται με 2004 συνολικής χρήσης), ή 3,8 YJ/έτος που επισκιάζουν όλες τις μη ανανεώσιμες πηγές.

### 3.1. Πηγές ενέργειας.

Ο 20ος αιώνας είδε μια ραγδαία εικοσαπλάσια ανάπτυξη στη χρήση των καύσιμων υλών. Μεταξύ του 1980 και του 2006, η παγκόσμια ετήσια ανάπτυξη ήταν της τάξης των 2%. Σύμφωνα με την εκτίμηση του 2006 της Αμερικανικής Διαχείρισης Πληροφόρησης Ενέργειας, τα αποτελέσματα 471,8 EJ της συνολικής κατανάλωσης το 2004 διαχωρίστηκε ως ακολούθως, με τα καύσιμα να παρέχουν το 86% της παγκόσμιας ενέργειας:

#### 3.1.1. Ορυκτά καύσιμα.

Ο άνθρακας τροφοδοτούσε τη βιομηχανική επανάσταση τον 18ο και 19ο αιώνα. Με τον ερχομό των αυτοκινήτων, αεροπλάνων και την εξάπλωση του ηλεκτρισμού, το πετρέλαιο έγινε το κυρίαρχο καύσιμο κατά τον 20ο αιώνα. Η ανάπτυξη του πετρελαίου ως το κυρίαρχο καύσιμο περαιτέρω ενθαρρύνθηκε λόγω της σταδιακής μείωσης των τιμών από το 1920 μέχρι το 1973. Μετά το πετρελαϊκό πλήγμα του 1973 και 1979, κατά τη διάρκεια του οποίου η τιμή αυξήθηκε από 5 σε 45 Αμερικανικά δολάρια το βαρέλι, υπήρξε μια παρέκκλιση από το πετρέλαιο. Ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και τα πυρηνικά, έγιναν τα προεπιλεγμένα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ τα μέτρα εξοικονόμησης που λήφθηκαν αύξησαν την αποδοτικότητα της ενέργειας. Στις Ηνωμένες Πολιτείες το μέσο αυτοκίνητο διπλασίασε τον αριθμό κατανάλωσης των μιλιών ανά γαλόνι. Η Ιαπωνία δεχόμενη το πλήγμα της επίθεσης από την πετρελαϊκή κρίση, προέβηκε σε θεαματικές βελτιώσεις και τώρα έχει την υψηλότερη αποδοτικότητα ενέργειας παγκοσμίως. Από το 1965 έως το 2008, η χρήση καύσιμων υλών συνέχισε να μεγαλώνει και το μερίδιό τους στην παροχή ενέργειας αυξήθηκε. Από το 2003 ως το 2008, ο άνθρακας ο οποίος είναι από τις πιο ρυπαρές πηγές ενέργειας, έγινε το πιο ραγδαίο σε ανάπτυξη καύσιμο.

#### 3.1.2. Πυρηνική ενέργεια.

Το 2005 η πυρηνική ενέργεια αντιστοιχούσε στο 6,3% της παγκόσμιας συνολικής πρωτεύουσας ενεργειακής πηγής. Η παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας το 2006 υπολογίστηκε σε 2,658 TWh (23,3 EJ), το οποίο είναι το 16% της παγκόσμιας συνολικής παραγωγής ηλεκτρισμού. Το Νοέμβριο του 2007, υπήρχαν 439 λειτουργικοί πυρηνικοί αντιδραστήρες παγκοσμίως, με συνολική ενεργειακή χωρητικότητα της τάξης των 372.002 MWe. Ακόμα 33 αντιδραστήρες ήταν υπό κατασκευή, 94 ήταν προγραμματισμένοι να δημιουργηθούν και 222 είχαν προταθεί.

### 3.1.3. Ανανεώσιμη ενέργεια.

Το 2008, η ανανεώσιμη ενέργεια τροφοδοτούσε γύρω στο 19% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Ο ανανεώσιμος τομέας ενέργειας αυξήθηκε σημαντικά στα μέσα των τελευταίων χρόνων του 20ου αιώνα, και το 2009 η συνολική νέα επένδυση υπολογίστηκε στο ύψος των 150 εκατομμυρίων δολαρίων Αμερικής. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα 80 GW ισχύος κατά τη διάρκεια του έτους.

### 3.1.4. Υδροηλεκτρική ενέργεια.

Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς υδροηλεκτρισμού ανέρχεται στα 816 GW το 2005, απαρτίζοντας τα 750 GW των μεγάλων εργοστασίων και 66 GW των μικρών εγκαταστάσεων ύδατος. Η μεγαλύτερη ισχύς έφτασε συνολικά τα 10,9 GW και προήλθε από την Κίνα, τη Βραζιλία και την Ινδία κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ υπήρχε πολύ περισσότερη ανάπτυξη (της τάξης του 8%) σε μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, με 5 GW να προστίθενται κυριότερα από την Κίνα, όπου εκεί βρίσκεται σήμερα το 58% των παγκοσμίων μικρών υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Η Κίνα είναι η μεγαλύτερη παραγωγός ενέργειας όσον αφορά τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις παγκοσμίως και συνεχίζει την αύξηση ισχύος. Στον δυτικό κόσμο, αν και ο Καναδάς έχει τη μεγαλύτερη παραγωγή υδροηλεκτρισμού, η κατασκευή μεγάλων μονάδων υδροηλεκτρισμού σταμάτησε λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών. Το κίνημα τόσο στον Καναδά αλλά και στις Ηνωμένες Πολιτείες μετέβηκε σε μικρές εγκαταστάσεις λόγω αναστρέψιμων αποτελεσμάτων στον αντίκτυπο του περιβάλλοντος και ελευθερώνει περισσότερες τοποθεσίες για παραγωγή ενέργειας. Μόνο στη Βρετανική Κολομβία υπολογίζεται πως οι μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις θα ξεπεράσουν το διπλάσιο της παραγωγής ηλεκτρισμού στην επαρχία.

### 3.1.5. Βιομάζα και βιοκαύσιμα.

Μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα η βιομάζα ήταν το κυρίαρχο καύσιμο, ενώ σήμερα έχει μόνο ένα μικρό μερίδιο της συνολικής ενεργειακής παροχής. Ο ηλεκτρισμός που παράγεται από τις πηγές βιομάζας υπολογίζεται στα 44 GW για την περίοδο του 2005. Ο ηλεκτρισμός μέσω της βιομάζας αυξήθηκε πάνω από το 100% στη Γερμανία, Ουγγαρία, Ολλανδία, Πολωνία και Ισπανία. Ένα περαιτέρω ποσό 220 GW χρησιμοποιούταν για θέρμανση (το 2004), φέρνοντας τη συνολική κατανάλωση ενέργειας από τη βιομάζα γύρω στα 264 GW. Η χρήση της βιομάζας για σκοπούς μαγειρικής αποκλείστηκε.

Η παγκόσμια παραγωγή βιοαιθανόλης αυξήθηκε κατά 8% το 2005 για να φτάσει τα 33 δις λίτρα (8,72 δις γαλόνια Αμερικής), με τη μεγαλύτερη αύξηση στις ΗΠΑ, φέρνοντάς την στο ίδιο επίπεδο με τα επίπεδα κατανάλωσης στη Βραζιλία. Το Βιοντίζελ αυξήθηκε κατά 85% σε 3,9 δις λίτρα (1,03 δις γαλόνια Αμερικής), το οποίο είχε ως αποτέλεσμα να γίνει η πιο ραγδαία αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας το 2005. Πάνω από 50% παράγεται στη Γερμανία.

### 3.1.6. Αιολική ενέργεια.

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Ένωση Αιολικής Ενέργειας, η εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας, αυξήθηκε κατά 29% από το τέλος του 2007 μέχρι τα τέλη του 2008 σε συνολικά 121 GW, με παραπάνω από τη μισή αύξηση να υφίσταται στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Ισπανία και την Κίνα. Ο διπλασιασμός της ισχύος ολοκληρώθηκε περίπου σε τρία χρόνια. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι περίπου 3 έως 8 φορές της πραγματικής μέσης ενέργειας που παράγεται μιας και η

φαινόμενη ισχύς αντιπροσωπεύει έξοδο κορυφής (peak). Η πραγματική ισχύς είναι εν γένει από 13 έως 40% της φαινόμενης ισχύος.

### 3.1.7. Ηλιακή ενέργεια.

Οι διαθέσιμες πηγές ηλιακής ενέργειας είναι 3,8 YJ/έτος (120.000 TW). Λιγότερο από 0,02% των διαθέσιμων πηγών αρκούν για να αντικαταστήσουν εξολοκλήρου τα καύσιμα ορυκτά και την πυρηνική ενέργεια που χρησιμοποιούνται ως ενεργειακές πηγές. Υποθέτοντας ότι ο βαθμός χρήσης το 2005 παραμένει σταθερός, προβλέπεται να τελειώνουν τα αποθέματα συμβατικού πετρελαίου το 2045 και του άνθρακα το 2159. Πρακτικά καμία από τις δύο αυτές πηγές δε θα τελειώσει μιας και φυσικοί περιορισμοί θα εξαναγκάσουν την παραγωγή να μειωθεί μιας και τα εναπομείναντα αποθέματα θα φθίνουν. Ο βαθμός με τον οποίο η ζήτηση μεγαλώνει και τα αποθέματα φθίνουν, έχει αυξηθεί ραγδαία επειδή ο ρυθμός κατανάλωσης δεν είναι σταθερός. Για παράδειγμα αν η ανάγκη για πετρέλαιο διπλασιαστεί, τα αποθέματα δεν θα παραμείνουν τόσο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, το κόστος των καυσίμων εξακολουθεί να ανέρχεται ενόσω η ηλιακή ενέργεια γίνεται οικονομικά πιο εφικτή.

Το 2007 τα φωτοβολταϊκά πλέγματα ήταν η πιο ραγδαία αναπτυσσόμενη ενεργειακή πηγή, με τις εγκαταστάσεις όλων των φωτοβολταϊκών να σημειώνουν αύξηση κατά 83% το 2009 και επέφεραν μία εγκατεστημένη ισχύ της τάξης των 15 GW. Σχεδόν το μισό της αύξησης συνέβηκε στη Γερμανία, η οποία έχει τώρα τη μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρισμού μέσω φωτοβολταϊκών (ακολουθούμενη από την Ιαπωνία). Η παραγωγή ηλεκτρικών κυβελών αυξήθηκε κατά 50% το 2007 σε 3.800 MW και διπλασιάζεται κάθε δύο χρόνια.

Η κατανάλωση ζεστού νερού μέσω ηλιακής ενέργειας και η θέρμανση χώρου, εκτιμήθηκε στα 88 GWt (GW θερμικής ενέργειας) το 2004. Η θέρμανση του νερού για πισίνες χωρίς εφύαλωση εξαιρείται.

### 3.1.8. Γεωθερμική ενέργεια.

Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε εμπορικά σε πάνω από 70 χώρες. Το 2004, 200 PJ (57 TWh) ηλεκτρισμού παραγόταν από γεωθερμικές πηγές και ένα επιπρόσθετο ποσό 270 PJ γεωθερμικής ενέργειας χρησιμοποιούταν άμεσα κυρίως για θέρμανση χώρων. Το 2007, παγκοσμίως υπήρχε ισχύς της τάξης των 10 GW ηλεκτρικής παραγωγής ενέργειας και ένα επιπρόσθετο ποσό της τάξης των 28 GW άμεσης θέρμανσης, συμπεριλαμβανομένης και της εξόρυξης από γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Οι αντλίες θερμότητας είναι μικρές και ευρέως διαδεδομένες, οπότε οι εκτιμήσεις της συνολικής τους ισχύος είναι αβέβαιες και φτάνουν ως τα 100GW. Οι παράγοντες ισχύος από τους οποίους εξαρτώνται οι αντλίες θέρμανσης είναι χαμηλοί, μιας και η ανάγκη είναι εποχιακή, ωστόσο παρέχουν τόσο ψύξη όσο και θέρμανση.

## 3.2. Ενέργεια ανά χώρα.

Η κατανάλωση ενέργειας είναι ελεύθερα συσχετισμένη με το ακαθάριστο εθνικό προϊόν και κλίμα, αλλά υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση ακόμα και μεταξύ των πιο αναπτυγμένων χωρών όπως η Ιαπωνία και η Γερμανία, με 6 kW ανά άτομο και στις Ηνωμένες Πολιτείες με 11,4 kW ανά άτομο. Στις αναπτυγμένες χώρες, ειδικά σε αυτές που είναι τροπικές ή υπο-τροπικές όπως η Ινδία, η κατά άτομο ενεργειακή χρήση είναι κοντά στο 0,7 kW. Το Μπαγκλαντές έχει τη λιγότερη κατανάλωση με 0,2 kW κατά άτομο.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες καταναλώνουν 25% της παγκόσμιας ενέργειας με ένα μείρισμα παγκοσμίου ΑΕΠ της τάξης του 22% και μια μερίδα του παγκοσμίου

πληθυσμού στο 4,5%. Η πιο σημαντική αύξηση της τρέχουσας ενεργειακής κατανάλωσης συμβαίνει στην Κίνα, η οποία αναπτύσσεται κατά 5,5% κάθε χρόνο τα τελευταία 25 χρόνια. Ο πληθυσμός της που είναι 1,3 δις άνθρωποι (20% του παγκόσμιου πληθυσμού) καταναλώνει ενέργεια με ρυθμό 1,6 kW κατά άτομο.

Τα τελευταία τέσσερα χρόνια, η κατανάλωση ηλεκτρισμού ανά πρωτεύουσα στις ΗΠΑ μειώθηκε περίπου κατά 1% ετησίως μεταξύ του 2004 και 2008. Η κατανάλωση ενέργειας προβλέπεται να φτάσει τις 4.333.631 kWh μέχρι το 2013, ένας ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης της τάξης του 1,93% για τα επόμενα 5 χρόνια. Η κατανάλωση σημείωσε άνοδο από 3.715.949 kWh το 2004 σε ένα απρόσμενο 3.937.879 kWh κάθε χρόνο από το 2008, μια αύξηση της τάξης του 1,5% ετησίως. Ο ρυθμός ανάπτυξης μειώθηκε σταδιακά ενώ ήταν 2,5% τη δεκαετία του '90. Ο πληθυσμός στις ΗΠΑ αυξανόταν περίπου κατά 1,3% ετησίως, μια συνολική αύξηση περίπου 6,7% μέσα σε πέντε χρόνια. Η μείωση που σημειώθηκε οφειλόταν περισσότερο σε αναπτύξεις αποδοτικότητας. Οι συμπαγείς λαμπτήρες φωτισμού για παράδειγμα, χρησιμοποιούν περίπου το ένα τρίτο του ηλεκτρισμού των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Οι λαμπτήρες LED ωστόσο, χρησιμοποιούν περίπου το ένα δέκατο και πάνω από 50.000 μέχρι 100.000 φθηνότερες ώρες ζωής από τους συμπαγείς λαμπτήρες φωτισμού.

Ένα σύστημα μέτρησης αποδοτικότητας είναι η ενεργειακή ένταση. Είναι η μέτρηση του ποσού της ενέργειας που απαιτείται από μια χώρα να παράγει ένα δολάριο ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος.

### 3.3. Ενέργεια ανά τομέα.

Βιομηχανικοί χρήστες (αγροκαλλιέργειες, εξόρυξη, βιομηχανικές κατασκευές, κατασκευαστικές) καταναλώνουν περίπου το 37% του συνόλου των 15 TW. Οι ατομικές και εμπορικές συγκοινωνίες καταναλώνουν το 20% ενώ οικιακή θέρμανση, φωτισμός και ηλεκτρικές συσκευές χρησιμοποιούν το 11%. Τέλος εμπορικές χρήσεις (φωτισμός, θέρμανση και ψύξη κτηρίων, παροχή νερού και υπηρεσίες λυμάτων) συγκεντρώνουν το 5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 27% της παγκόσμιας ενέργειας χάνεται κατά τη μεταφορά ενέργειας και την παραγωγή της. Το 2005 η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας έφτασε περίπου τα 2 TW. Ο ρυθμός παραγωγής ενέργειας της τάξης των 2 TW ηλεκτρισμού, είναι περίπου 5 TW μιας και η απόδοση ενός τυπικού εργοστασίου παραγωγής ενέργειας είναι γύρω στα 38%. Η νέα γενιά των εργοστασίων παραγωγής ενέργειας τροφοδοτούμενων από αέριο πετυχαίνει μια σημαντική απόδοση που φτάνει στο 55%. Ο άνθρακας είναι το πιο κοινό καύσιμο των παγκόσμιων εργοστασίων παραγωγής ενέργειας.

## 4. ΚΑΥΣΙΜΕΣ ΥΛΕΣ

Τα αποθέματα των καυσίμων υλών εκτιμούνται ως εξής:

Καύσιμο	Ενεργειακά αποθέματα σε ZJ (τέλη του 2009)
Άνθρακας	19,8
Πετρέλαιο	8,1
Αέριο	8,1

Αυτά τα στοιχεία αποτελούν τα αποδεδειγμένα ενεργειακά αποθέματα, όμως τα πραγματικά αποθέματα μπορεί να ανήκουν σε έναν παράγοντα μεγαλύτερο του 4. Σημαντική αβεβαιότητα περιβάλλει αυτά τα στοιχεία. Η εκτίμηση των αποθεμάτων των καυσίμων στον πλανήτη εξαρτάται από λεπτομερή εξέταση του γήινου φλοιού. Αυτή η εξέταση παραμένει ακόμα ατελής. Ακόμα και αν η νεώτερη τεχνολογία γεώτρησης καθιστά εφικτό να ανοιχτούν πηγάδια σε βάθος τριών χιλιομέτρων νερού και να επικυρωθεί έτσι η ακριβής σύσταση γεωλογικά, το πρώτο μισό του ωκεανού είναι βαθύτερο από τρία χιλιόμετρα, αφήνοντας έτσι περίπου το ένα τρίτο του πλανήτη αδύνατο για περαιτέρω εκτενή ανάλυση.

Ωστόσο θα έπρεπε να σημειωθεί πως αυτή η ποσοτική ανάλυση των αποδεδειγμένων αποθεμάτων καυσίμων δεν υπολογίζουν αρκετούς παράγοντες σημαντικούς για το κόστος εξόρυξης και την τιμή της ενέργειας που εξάγεται από αυτά. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν την πρόσβαση στα συγκεκριμένα αποθέματα, το επίπεδο του θείου και άλλων ακάθαρτων προσμίξεων στο πετρέλαιο και στον άνθρακα, κόστος μεταφοράς, επικίνδυνες περιοχές κλπ. Όπως έχει προειπωθεί τα ευκόλως εξορυσσόμενα ορυκτά καύσιμα έχουν ήδη εξορυχτεί. Αυτά που έχουν παραμείνει ακόμα στο έδαφος είναι ακάθαρτα και έχουν υψηλό κόστος εξόρυξης.

#### **4.1. Άνθρακας.**

Ο άνθρακας είναι το πιο πλούσιο καύσιμο ορυκτό. Ήταν το κυρίαρχο καύσιμο που πυροδότησε τη βιομηχανική επανάσταση και συνέχισε να εξαπλώνεται σε χρήση. Η Κίνα, η οποία έχει από τις μεγαλύτερες σε μόλυνση πόλεις, το έτος 2007 έφτασε να κατασκευάζει περίπου δύο εργοστάσια ενέργειας τροφοδοτούμενα από άνθρακα κάθε εβδομάδα. Ο άνθρακας είναι το πιο ραγδαίο σε ανάπτυξη καύσιμο και τα μεγάλα αποθέματά του θα το καθιστούσαν αρκετά δημοφιλές ώστε να αντιμετωπίσει την ενεργειακή ανάγκη της παγκόσμιας κοινότητας, εξαιρετέου του φαινομένου παγκόσμιας θέρμανσης του πλανήτη και άλλων μολύνσεων. Σύμφωνα με τη Διεθνή Υπηρεσία Ενέργειας, τα αποδεδειγμένα αποθέματα άνθρακα είναι περίπου 909 εκατομμύρια τόνοι, τα οποία θα μπορούσαν να διατηρήσουν την τρέχουσα παραγωγή για 155 έτη, αν και το 5% της ανάπτυξης ετησίως θα επέφερε μια μείωση σε 45 χρόνια ή μέχρι το 2051. Με την επεξεργασία Fischer-Tropsch είναι δυνατό να δημιουργηθούν ρευστά καύσιμα όπως το Diesel και Jet καύσιμα από τον άνθρακα. Στις ΗΠΑ, το 49% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από την καύση του άνθρακα.

#### **4.2. Πετρέλαιο.**

Έχει εκτιμηθεί ότι μπορεί να υπάρχουν 57 ZJ αποθέματα πετρελαίου στη Γη (αν και οι εκτιμήσεις ποικίλουν από μια χαμηλή τιμή των 8ZJ, συμπεριλαμβανομένων των επικυρωμένων και εξορύξιμων αποθεμάτων, σε ένα μέγιστο της τάξης των 110 ZJ) το οποίο περικλείει τα διαθέσιμα αλλά όχι απαραίτητα και εξορύξιμα αποθέματα, με μία αισιόδοξη εκτίμηση που περιέχει αντισυμβατικές πηγές όπως η πισσούχες άμμοι και η πετρελαιοφόρος σχιστόλιθος. Τρέχουσες γενικές παραδοχές μεταξύ των 18 αναγνωρισμένων εκτιμήσεων πλάνων προμήθειας, είναι πως η κορύφωση της εξόρυξης θα συμβεί το 2020 στο ύψος των 93 εκατομμυρίων βαρελιών ημερησίως

(mbd). Η τρέχουσα κατανάλωση πετρελαίου βρίσκεται στο ρυθμό των 0,18ΖJ ετησίως (31,1 δις βαρέλια) η 85 mbd.

Εκδηλώνονται ανησυχίες πως η κορύφωση της πετρελαϊκής παραγωγής θα συμβεί στο κοντινό μέλλον, έχοντας ως αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση της τιμής του πετρελαίου. Το 2005, μια αναφορά του Γαλλικού Υπουργείου Οικονομικών, Βιομηχανίας και Επένδυσης θεώρησε ένα υποθετικό σενάριο χειρίστης περίπτωσης, που θα μπορούσε να συμβεί το νωρίτερο δυνατό, το 2013. Υπάρχουν επίσης θεωρίες ότι η κορύφωση της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου πιθανολογείται να συμβεί μέσα στα επόμενα δύο με τρία χρόνια. Η οργάνωση ASPO (Association for the Study of Peak Oil and Gas) θεωρεί την συγκεκριμένη κορύφωση το 2010. Άλλες θεωρίες τοποθετούν την κορύφωση πως ήδη έχει λάβει χώρα από το 2005. Η παγκόσμια παραγωγή αργού πετρελαίου (συμπεριλαμβανομένου και του φυσικού αερίου), σύμφωνα με τα δεδομένα που προέρχονται από την ένωση διαχείρισης και πληροφόρησης ενέργειας (US IEA) στις ΗΠΑ, παρουσίασε μείωση από τα 73.720 mdb το 2005 στα 73.437 mdb το 2006, 72.981 mdb το 2007 και 73.697 mdb το 2008. Σύμφωνα με τη θεωρία κορύφωσης του πετρελαίου, η ανάπτυξη της παραγωγής θα οδηγήσει σε μια πιο ραγδαία κατάρρευση της μελλοντικά, ενώ η μείωση της θα οδηγήσει σε μια πιο αργή πτώση, μιας και το γράφημα σχήματος καμπάνας αναμένεται να πλατύνει μέσα στα επόμενα χρόνια. Σε έναν επικυρωμένο σκοπό ανύψωσης των τιμών του πετρελαίου σε 75 δολάρια το βαρέλι, το οποίο είχε πέσει από 147 δολάρια σε μία τιμή 40 δολαρίων, η οργάνωση OPEC (Οργανισμός Πετρελαιοπαραγωγών Κρατών), ανακοίνωσε τη μείωση της παραγωγής κατά 2,2 mdb ξεκινώντας από την 1η Ιανουαρίου 2009.

### **4.3. Βιωσιμότητα.**

Πολιτικές μέριμνες σχετικά με την ασφάλεια των προμηθειών, περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με την παγκόσμια θέρμανση και τη βιωσιμότητα αναμένονται να μεταθέσουν την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα. Η θεωρία της κορύφωσης του πετρελαίου φανερώνει πως περίπου μισές από τις διαθέσιμες πετρελαϊκές πηγές έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί και προβλέπεται μια μείωση της παραγωγής.

Εάν μια κυβέρνηση απομακρυνόταν από τα ορυκτά καύσιμα θα προκαλούσε πιθανότατα οικονομική πίεση μέσω του άνθρακα και της πράσινης φορολογίας. Κάποιες χώρες αναλαμβάνουν δράση ως συμμόρφωση στο πρωτόκολλο του Kyoto (Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί έναν «οδικό χάρτη», στον οποίο περιλαμβάνονται τα απαραίτητα βήματα για τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος που προκαλείται λόγω της αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου), ενώ προτείνονται περαιτέρω βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση. Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα πρότεινε πως η ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα έπρεπε να θέσει ένα δεσμευτικό στόχο ανάπτυξης του επιπέδου της ανανεώσιμης ενέργειας συνολικά από λιγότερο του 7% που ήταν το 2007 σε 20% μέχρι το 2020.

Οι αντιθέσεις της βιωσιμότητας είναι μια αγνόηση των ορίων, κοινώς αναφερόμενα ως το φαινόμενο του νησιού του Πάσχα, το οποίο αποτελεί τη θεωρία της «βιωσιμότητας μη ανάπτυξης», οδηγώντας στην μείωση της πληρότητας των φυσικών πηγών.

#### 4.4. Πυρηνική ενέργεια.

##### 4.4.1. Πυρηνική σχάση.

Η διεθνής επιτροπή ατομικής ενέργειας υπολογίζει πως τα εναπομείναντα αποθέματα ουρανίου είναι 2500 ZJ. Αυτό προϋποθέτει τη χρήση αναπαραγωγικών αντιδραστήρων που είναι ικανοί να δημιουργήσουν περισσότερο σχάσιμο υλικό από όσο καταναλώνουν. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) εκτιμάει τα σημερινά αποδεδειγμένα και οικονομικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ουρανίου, προς μονόδρομη επεξεργασία από καύσιμους αντιδραστήρες να είναι μόνο 2 ZJ. Το συνολικά ανακτήσιμο ουράνιο εκτιμάται στα 17 ZJ για μονόδρομους αντιδραστήρες και 1000 ZJ με αντιδραστήρες ανακατεργασίας και υψηλής ταχύτητας αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες.

Οι πόροι και η τεχνολογία δεν περιορίζουν την ισχύ της πυρηνικής ενέργειας στη συμβολή της να αντιμετωπίσει τις ενεργειακές απαιτήσεις του 21ου αιώνα. Ωστόσο, πολιτικοί και περιβαλλοντικοί ενδοιασμοί για την πυρηνική ασφάλεια καθώς και τα ραδιενεργά απόβλητα άρχισαν να περιορίζουν την εξάπλωση αυτής της ενεργειακής παροχής στα τέλη του τελευταίου αιώνα, ειδικά λόγω ενός αριθμού πυρηνικών ατυχημάτων. Ανησυχίες για την πυρηνική διάδοση (ειδικότερα με την παραγωγή πλουτωνίου από αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες) σημαίνει πως η ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας από χώρες όπως το Ιράν και η Συρία αποθαρρύνονται από τη διεθνή κοινότητα σήμερα.

##### 4.4.2. Πυρηνική σύντηξη.

Η ενέργεια σύντηξης είναι η διαδικασία καύσης που συντελείται στον ήλιο και τα άλλα άστρα. Με τη σύντηξη παράγονται μεγάλες ποσότητες θερμότητας με την τήξη του πυρήνα του υδρογόνου ή ισότοπων ηλίου, το οποίο συλλέγεται από το θαλασσινό νερό. Η θερμότητα μπορεί θεωρητικά να συλλεχθεί προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρισμός. Η θερμοκρασία και η πίεση που απαιτείται προκειμένου να διατηρηθεί η σύντηξη, την κάνουν πολύ δύσκολη διεργασία προς έλεγχο. Η σύντηξη είναι θεωρητικά ικανή να παρέχει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, με σχετικά μικρό ποσοστό μόλυνσης. Αν και τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ενωμένη Ευρώπη, μαζί με άλλες χώρες, υποστηρίζουν την έρευνα της σύντηξης όπως οι επενδύσεις στην ITER ή ο διεθνής θερμοπυρηνικός πειραματικός αντιδραστήρας. Σύμφωνα με μία αναφορά, ανεπαρκής προσπάθεια καθυστέρησε την πρόοδο στην έρευνα της σύντηξης τα τελευταία 20 χρόνια.

#### 5. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι διαθέσιμες κάθε έτος, σε αντίθεση με τις μη ανανεώσιμες, που κάποια στιγμή θα εξαντληθούν. Μια απλή σύγκριση θα μπορούσε να είναι ένα ανθρακωρυχείο και ένα δάσος. Ενώ το δάσος θα μπορούσε να εξαλειφθεί, αν γινόταν μια σωστή διαχείρισή του θα μπορούσε να αποτελεί μια συνεχή πηγή ενέργειας έναντι στο ανθρακωρυχείο, που εάν σταματούσε την προμήθεια άνθρακα θα έπαυε και να υφίσταται. Οι περισσότερες διαθέσιμες ενεργειακές πηγές της γης είναι ανανεώσιμες. Οι ανανεώσιμες πηγές αντιστοιχούν σε περισσότερο από 93% των συνολικών αποθεμάτων ενέργειας στις ΗΠΑ. Οι ετήσιες ανανεώσιμες πηγές πολλαπλασιάστηκαν τα τελευταία 30 χρόνια σε σύγκριση με τις μη ανανεώσιμες. Με άλλα λόγια, αν όλες οι μη ανανεώσιμες πηγές εξαντλούνταν

ενιαία τότε θα αντιστοιχούσαν μόνο στο 7% των διαθέσιμων πηγών ετησίως, εάν αναπτύσσονταν όλες οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας.

### **5.1. Ηλιακή ενέργεια.**

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ακόμα μεγαλύτερες από τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα και θεωρητικά μπορούν εύκολα να τροφοδοτήσουν τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. 89 PW ηλιακής ενέργειας πέφτει στην επιφάνεια του πλανήτη. Αν και δεν είναι εφικτό να συλλέξουμε όλη ή ακόμα και το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της ενέργειας, το να συλλεχθεί λιγότερο από 0,02% θα ήταν αρκετό για να ανταποκριθεί στις τρέχουσες ενεργειακές ανάγκες. Εμπόδια στην περαιτέρω παραγωγή ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος της κατασκευής ηλιακών συλλεκτών και την εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες ώστε να παραχθεί ενέργεια. Επίσης η ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό τη νύχτα, το οποίο είναι ένα συγκεκριμένο πρόβλημα σε χώρες που βρίσκονται σε αρκετά υψηλά βόρεια και νότια γεωγραφικά πλάτη. Η ενεργειακή ανάγκη είναι υψηλή το χειμώνα, ενώ η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας είναι η πιο μικρή. Αυτό θα μπορούσε να ξεπεραστεί με το να αγοραστεί ενέργεια από χώρες που είναι κοντά στον ισημερινό κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Παγκοσμίως, η παραγωγή ηλιακής ενέργειας είναι η πιο ραγδαία σε ανάπτυξη πηγή ενέργειας, παρουσιάζοντας μια ετήσια μέση ανάπτυξη της τάξης των 35% μέσα στα τελευταία χρόνια. Η Ιαπωνία, η Ευρώπη, η Κίνα, οι ΗΠΑ και η Ινδία είναι οι σημαντικότερες σε ανάπτυξη επενδυτές στην ηλιακή ενέργεια. Πρόοδος στην τεχνολογία και κλιμακωτά στην οικονομία, μαζί με τη ζήτηση για λύσεις στην παγκόσμια θέρμανση, οδήγησαν τα φωτοβολταϊκά να γίνουν ο πιο πιθανός υποψήφιος για να αντικαταστήσει τα πυρηνικά και τα ορυκτά καύσιμα.

### **5.2. Αιολική ενέργεια.**

Η διαθέσιμη αιολική ενέργεια εκτιμάται σε κλίμακα από 300 TW μέχρι 870 TW. Χρησιμοποιώντας τη χαμηλότερη εκτίμηση, μόνο το 5% της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας θα μπορούσε να τροφοδοτήσει την τρέχουσα παγκόσμια ανάγκη. Περισσότερη από αυτήν την αιολική ενέργεια είναι διαθέσιμη στον ανοιχτό ωκεανό. Οι ωκεανοί καλύπτουν το 71% του πλανήτη και ο άνεμος έχει την τάση να είναι πιο δυνατός στα ανοιχτά ύδατα εφόσον εκεί υπάρχουν λιγότερα εμπόδια.

### **5.4 Κυματική και παλιρροιακή ενέργεια.**

Στα τέλη του 2005, παράχθηκε 0,3 GW ηλεκτρισμού από παλιρροιακή ενέργεια. Λόγω των παλιρροιακών δυνάμεων που δημιουργούνται από τη Σελήνη (68%), τον Ήλιο (32%) και τη σχετική περιστροφή της Γης με την επίδραση της Σελήνης και του Ήλιου, υπάρχουν οι πλημμυρίδες. Οι πλημμυρίδες έχουν ως αποτέλεσμα την έκλυση ενέργειας σε ένα μέσο ρυθμό περίπου 3,7 TW.

Ένας ακόμα φυσικός περιορισμός είναι η διαθέσιμη ενέργεια στις πλημμυρίδες των ωκεανών, η οποία είναι περίπου 0,6 EJ. Αυτό είναι μόνο ένα μικρό κομμάτι της συνολικής περιστροφικής ενέργειας της Γης. Χωρίς εξαναγκασμό, αυτή η ενέργεια θα μπορούσε να εκλυθεί (με ένα ρυθμό της τάξης του 3,7 TW) σε περίπου τέσσερεις semidiurnal περιόδους (δύο υψηλά ύδατα και δύο χαμηλά ύδατα κάθε ημέρα). Οπότε



η έκλυση παίζει ένα σημαντικό ρόλο στις παλιρροιακές δυναμικές των ωκεανών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της διαθέσιμης παλιρροιακής ενέργειας γύρω στα 0,8 TW (20% του ρυθμού έκλυσης) με προϋπόθεση ότι δε θα διακόπτονταν αρκετά οι παλιρροιακές δυναμικές.

Τα κύματα προκύπτουν από τον άνεμο, ο οποίος εν σειρά προκύπτει από την ηλιακή ενέργεια, και σε κάθε μετατροπή υπάρχει περίπου και μια πτώση μεγέθους δύο τάξεων στη διαθέσιμη ενέργεια. Η συνολική ενέργεια των κυμάτων που προσκρούουν στις ακτές μας ανέρχεται στα 3TW.

#### **5.4. Γεωθερμική ενέργεια.**

Εκτιμήσεις των πηγών της παγκόσμιας εκμεταλλεύσιμης γεωθερμικής ενέργειας ποικίλλουν αρκετά, εξαρτώμενες από υποτιθέμενες επενδύσεις στην τεχνολογία και στις εξερευνήσεις ή υποθέσεις σχετικά με γεωλογικούς σχεδιασμούς. Σύμφωνα με μια μελέτη του 1999 θεωρήθηκε πως η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αντιστοιχιστεί μεταξύ 65 και 138 GW παραγωγής ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας βελτιωμένη τεχνολογία. Άλλες εκτιμήσεις κυμαίνονται από 35 μέχρι 2000 GW παραγωγής ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας, με μια περαιτέρω επέκταση προς 140 EJ ανά έτος για άμεση χρήση.

Μια έκθεση του 2006 από το MIT, που έλαβε σε εκτίμηση τη χρήση βελτιωμένων γεωθερμικών συστημάτων (Enhanced Geothermal Systems -EGS), συμπέρανε πως θα ήταν οικονομικά εφικτό να παραχθούν 100 GWe (Gigawatts ηλεκτρικής ενέργειας) ή περισσότερα, από το 2050 μόνο στις ΗΠΑ, για μια μέγιστη επένδυση ενός δις δολαρίων ΗΠΑ στην έρευνα και ανάπτυξη μέσα σε 15 χρόνια. Η έκθεση του MIT υπολόγισε τις παγκόσμιες πηγές EGS να είναι πάνω από 13 YJ, εκ των οποίων πάνω από 200 ZJ θα ήταν εξορύξιμα με δυνατότητα να αυξηθεί το ποσό αυτό πάνω από 2 YJ με τεχνολογικές βελτιώσεις, που θα επαρκούν να τροφοδοτήσουν τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες για αρκετές χιλιετίες. Η συνολική περιεκτικότητα θέρμανσης της Γης είναι πάνω από 13.000.000 YJ.

#### **5.5. Βιομάζα.**

Η παραγωγή της βιομάζας και των βιοκαυσίμων είναι υπό ανάπτυξη μιας και το ενδιαφέρον στις σταθερές πηγές καυσίμων ανεβαίνει. Η χρήση των προϊόντων αποβλήτων αποφεύγει μια αντικατάσταση τροφής-καυσίμου και η καύση μεθανίου μειώνει τις εκπομπές αερίου θερμοκηπίου, επειδή ακόμα κι αν απελευθερωθεί διοξείδιο του άνθρακα, το συγκεκριμένο αέριο είναι 23 φορές λιγότερο αέριο θερμοκηπίου από όσο είναι το μεθάνιο. Τα βιοκαύσιμα αντιπροσωπεύουν μία σταθερή μερική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, αλλά η δικτυακή επίπτωση στις εκπομπές αερίου θερμοκηπίου εξαρτάται από τις αγροτικές εργασίες που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια φυτών ως πρώτη ύλη για να δημιουργηθούν τα καύσιμα. Ενώ είναι διαδεδομένο ευρέως ότι τα βιοκαύσιμα μπορεί να είναι ελεύθερα από άνθρακα, υπάρχουν ενδείξεις ότι τα βιοκαύσιμα προερχόμενα από τις τρέχουσες μεθόδους καλλιέργειας, είναι ύψιστης δικτυακής εκπομπής άνθρακα. Η γεωθερμία και η βιομάζα είναι οι μόνες δύο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που απαιτούν προσεκτική διαχείριση ώστε να αποφευχθεί η τοπική εξάντληση αποθέματος.

## 5.6. Υδροηλεκτρισμός.

Το 2005, η υδροηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτούσε το 16,4% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, κάτω από το 21% το 1973, μα μόνο το 2,2% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας.

## 5.7. Εναλλακτικές ενεργειακές μέθοδοι.

Η Δανία και η Γερμανία άρχισαν να επενδύουν στην ηλιακή ενέργεια, παρά το γεγονός ότι βρίσκονται σε δυσμενείς γεωγραφικές τοποθεσίες. Η Γερμανία τώρα είναι η μεγαλύτερη χώρα σε κατανάλωση φωτοβολταϊκών κυψελών παγκοσμίως. Η Δανία και η Γερμανία εγκατέστησαν 3 GW και 17 GW αιολικής ενέργειας επιπροσθέτως. Το 2005, η αιολική ενέργεια παρήγαγε το 18,5% όλου του ηλεκτρισμού στη Δανία. Η Βραζιλία επενδύει στην παραγωγή αιθανόλης από ζαχαροκάλαμα, το οποίο είναι ένα σημαντικό κομμάτι του καυσίμου μεταφοράς της χώρας. Ξεκινώντας το 1965, η Γαλλία έκανε μεγάλες επενδύσεις στην πυρηνική ενέργεια και μέχρι σήμερα τρία τέταρτα του ηλεκτρισμού προέρχεται από πυρηνικούς αντιδραστήρες. Η Ελβετία σκοπεύει να μειώσει την ενεργειακή της κατανάλωση σε περισσότερο από το μισό, ώστε να γίνει μια κοινωνία των 2000 watt μέχρι το 2050 και το Ηνωμένο Βασίλειο εργάζεται προς μια μηδενική ενεργειακή αρχιτεκτονική, πρότυπη για όλη την νέα στέγαση μέχρι το 2016.

## B. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

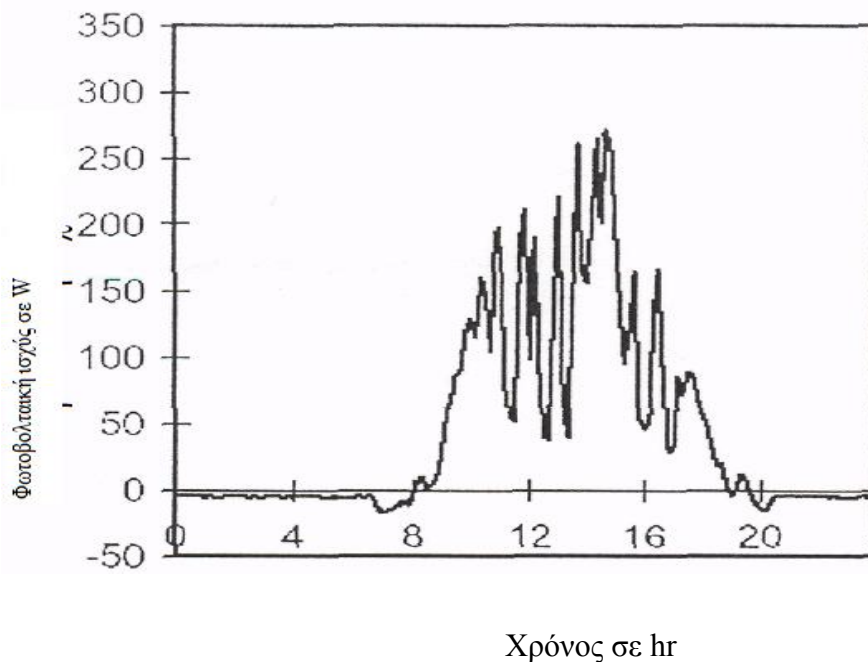
Σε αυτήν την ενότητα θα ασχοληθούμε με τις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι αυτήν τη στιγμή πιο διαδεδομένες ανά τον κόσμο. Οι περισσότεροι λόγοι για την ευρεία αποδοχή των συγκεκριμένων τεχνολογιών υπάγονται τις περισσότερες φορές σε οικονομικές αιτίες καθώς και στην ευκολία εγκατάστασης του απαιτούμενου εξοπλισμού. Επιπροσθέτως τις περισσότερες φορές παίζει σημαντικό ρόλο και το κλίμα της κάθε χώρας που εφαρμόζει τις τεχνολογίες αυτές, καθώς και οι αλλαγές του. Η πρώτη τεχνολογία που θα εξεταστεί είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα[5].

### 1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Η φωτοβολταϊκή μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια έχει κυρίως πλεονεκτήματα, αν εξαιρεθούν το σχετικά υψηλό κόστος για τις περισσότερες εφαρμογές, η αδυναμία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας να παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια λόγω των διακυμάνσεων της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του 24ώρου και η απαίτηση της χρησιμοποίησης μεγάλων σχετικά επιφανειών λόγω της μικρής ποιότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα πλεονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι τα ακόλουθα:

- Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
- Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής.
- Σχετικά εύκολη μέθοδος κατασκευής των ηλιακών κυττάρων από πρώτες ύλες.
- Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (τουλάχιστον 25 χρόνια).
- Τα ηλιακά στοιχεία δεν έχουν κινούμενα μέρη και είναι σχεδόν απαλλαγμένα από την ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης. Ακόμα και σε περίπτωση βλάβης, η αποκατάσταση της λειτουργίας γίνεται εύκολα λόγω της σπονδυλωτής μορφής της φωτοβολταϊκής διάταξης.
- Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο ή άλλη ενόχληση και δε δημιουργεί απόβλητα ή άχρηστα παραπροϊόντα.
- Δίνει τη δυνατότητα ανεξαρτησίας από κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, καθιστώντας τη μια λογικού κόστους παροχή ενέργειας σε εγκαταστάσεις απομακρυσμένες από το κυρίως δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν με όσο μικρή ισχύ ζητηθεί.
- Η αναλογία της παραγόμενης ισχύος προς το βάρος της διάταξης είναι αρκετά μεγάλη, περίπου 100W/kg, που είναι σημαντική ιδιότητα για τις διαστημικές εφαρμογές.
- Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ημιαγωγικών υλικών και η συνεχής μείωση του κόστους παραγωγής τους, οδηγούν σε σταδιακή μείωση και του κόστους των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Ένα βασικό μειονέκτημα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι, σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα μετατροπής, η τροφοδοσία του (ηλιακή ακτινοβολία) δεν είναι καθόλου σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής, ακολουθώντας συχνά απότομες και απρόβλεπτες διακυμάνσεις. Το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ήλιου, ονομάζεται ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και με μία πιο αυστηρή ορολογία, ροή ακτινοβολίας που ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα εμβαδού μιας επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας και εκφράζεται συνήθως σε kW/m<sup>2</sup>. Επίσης στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον, ενώ από τη ακτινοβολία που διεισδύει ένα μέρος πάλι συμβάλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Στο σχήμα 1.1 φαίνονται δύο παραδείγματα των μεταβολών της ισχύος που παράγει μία φωτοβολταϊκή γεννήτρια κατά τη διάρκεια της μέρας.



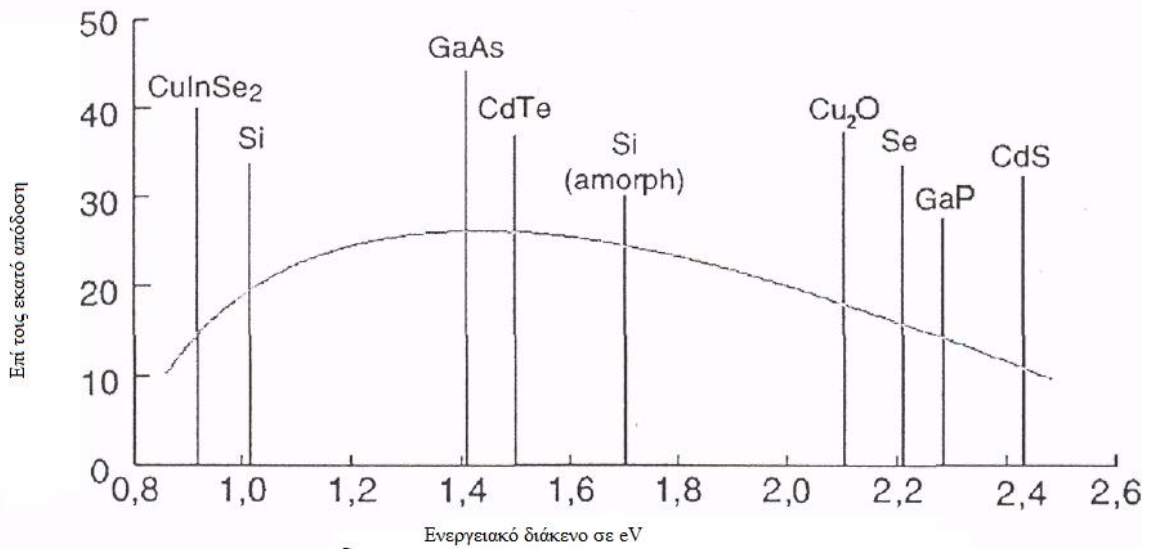
Σχήμα 1.1 Παραδείγματα μεταβάσεων της ισχύος φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

### 1.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο.

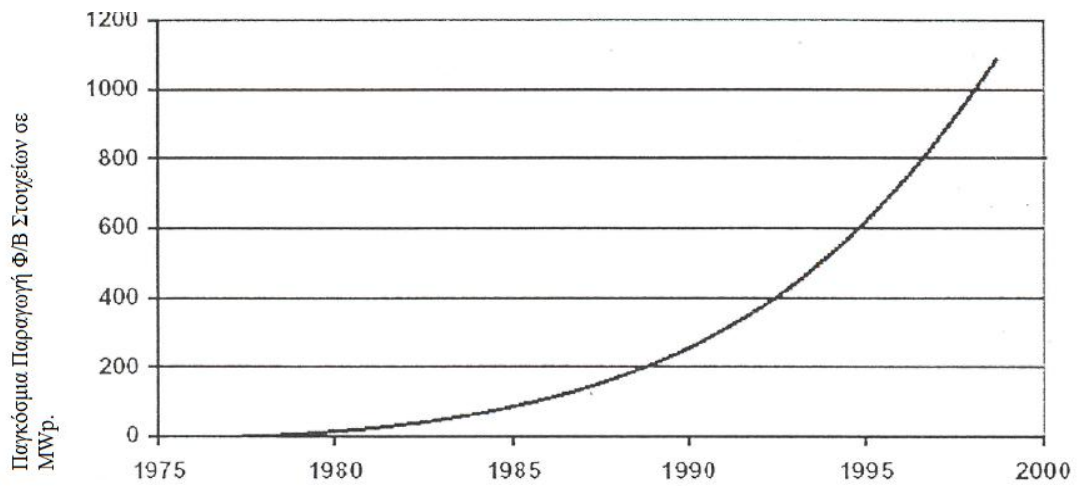
Τα κύρια συστατικά των φωτοβολταϊκών γεννητριών και η καρδιά κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή κυψελίδες. Αυτά είναι δίοδοι ημιαγωγών σε μορφή δίσκου, που καθώς δέχονται στην επιφάνεια τους την ηλιακή ακτινοβολία, εκδηλώνουν μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και στην πίσω όψη τους. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και την ένταση ακτινοβολίας που δέχονται, ένα ηλιακό κύτταρο μπορεί να δώσει μέχρι 0.5-1.0 Volt και πυκνότητα ρεύματος μέχρι 20-40mA ανά  $\text{cm}^2$  της επιφάνειάς του. Το είδος του ημιαγωγού που επιλέγεται ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθορίζεται με κυριότερο κριτήριο όπως θα δούμε και στη συνέχεια, την τιμή του ενεργειακού διακένου του, η οποία καθορίζει και την απόδοση του στοιχείου. Ως συντελεστής απόδοσης ή απλούστερα ως απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το στοιχείο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του. Στο σχήμα 1.2 βλέπουμε ότι οι μεγαλύτερες θεωρητικές αποδόσεις μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περίπου 25% και μπορούν να πραγματοποιηθούν με φωτοβολταϊκά στοιχεία από ημιαγωγούς με ενεργειακό διάκενο περίπου 1.5eV.

Το πυρίτιο αποτελεί το βασικότερο υλικό για την κατασκευή ηλιακών κυττάρων μιας και αποτελεί το κυρίαρχο υλικό στην κατασκευή ημιαγωγών. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από πυρίτιο κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας είτε μονοκρυσταλλικούς ή πολυκρυσταλλικούς δίσκους, είτε λεπτά φύλλα πυριτίου (άμορφο). Με τη συνεχή αύξηση στην παραγωγή ημιαγωγικών υλικών και τη βελτίωση της τεχνολογίας πυριτίου, η απόδοση των ηλιακών στοιχείων παρουσιάζει μια συνεχή αύξηση, πλησιάζοντας τη μέγιστη θεωρητική τιμή τους και με παράλληλη ραγδαία μείωση στο κόστος τους. Για την εκτίμηση του κόστους των ηλιακών στοιχείων χρησιμοποιείται

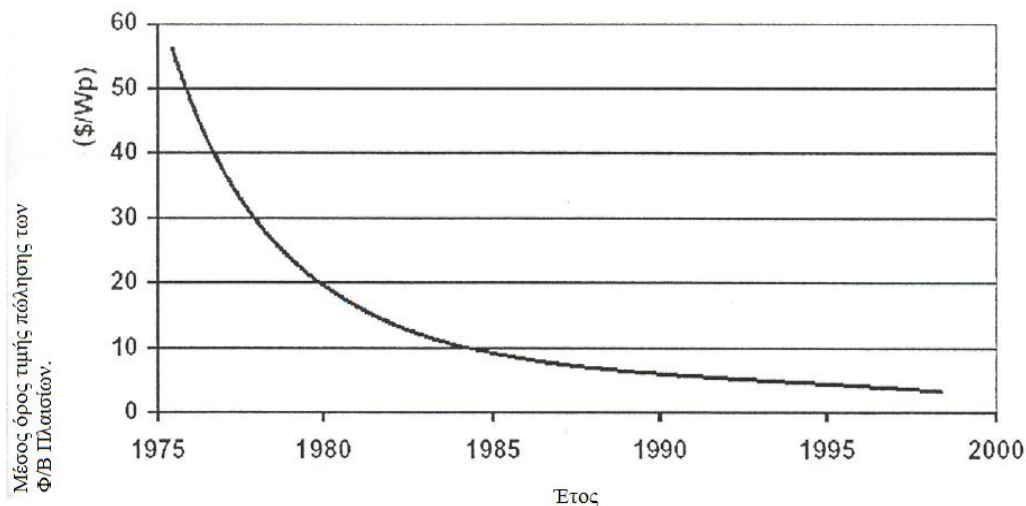
ο συμβατικός όρος watt αιχμής ( $W_p$ , peak watt) που είναι η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια του στοιχείου για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος 1W όταν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος  $1kW/m^2$ . Π.χ. κόστος ηλιακού στοιχείου  $10€/W_p$  σημαίνει ότι το κόστος ενός ή περισσότερων ηλιακών στοιχείων με τόση συνολική επιφάνεια ώστε να παράγουν ηλεκτρική ισχύ 1W, όταν εκτεθούν σε ακτινοβολία πυκνότητας  $1kW/m^2$ , είναι 10€. Δηλαδή το  $W_p$  εκφράζει συνδυασμένα το κόστος κατασκευής σε σχέση με την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Στα σχήματα 1.3 και 1.4 παρουσιάζεται αυτή η πορεία ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών στοιχείων, τόσο απ' την σκοπιά της αύξησης της παραγωγής όσο και απ' την σκοπιά της μείωσης του κόστους.



Σχήμα 1.2 Θεωρητικά μέγιστα επίπεδα της απόδοσης διαφόρων ηλιακών κυττάρων σε συνάρτηση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού από τον οποίο είναι κατασκευασμένα σε κανονικές συνθήκες.



Σχήμα 1.3 Παγκόσμια συνολική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων [1976-1998, NREL '99, Ayres '98].



Σχήμα 1.4 Μέσος όρος τιμών πώλησης φωτοβολταϊκών στοιχείων παγκοσμίως [1976-1998, Ayres '98, Thomas '99].

Στην Ελλάδα, δυστυχώς δεν έχουν εφαρμοστεί ευρέως προγράμματα εκμετάλλευσης της φωτοβολταϊκής ενέργειας, παρ' ό τι πολλοί λόγοι συμβάλουν για το αντίθετο. Η ευνοϊκή γεωγραφική θέση και το κλίμα, ιδίως στις νοτιότερες περιοχές της (δέχεται αρκετά σημαντική ηλιακή ακτινοβολία, περίπου  $4600 \text{ MJ/m}^2$  ετησίως, κατά μέσο όρο, σε σύγκριση με  $8000 \text{ MJ/m}^2$  στις τροπικές περιοχές και  $2200 \text{ MJ/m}^2$  κοντά στις αρκτικές περιοχές), καθώς και η ύπαρξη απομονωμένων και αραιοκατοικημένων περιοχών κυρίως στα νησιά, δίνουν μεγάλα περιθώρια στη διάδοση των φωτοβολταϊκών εφαρμογών.

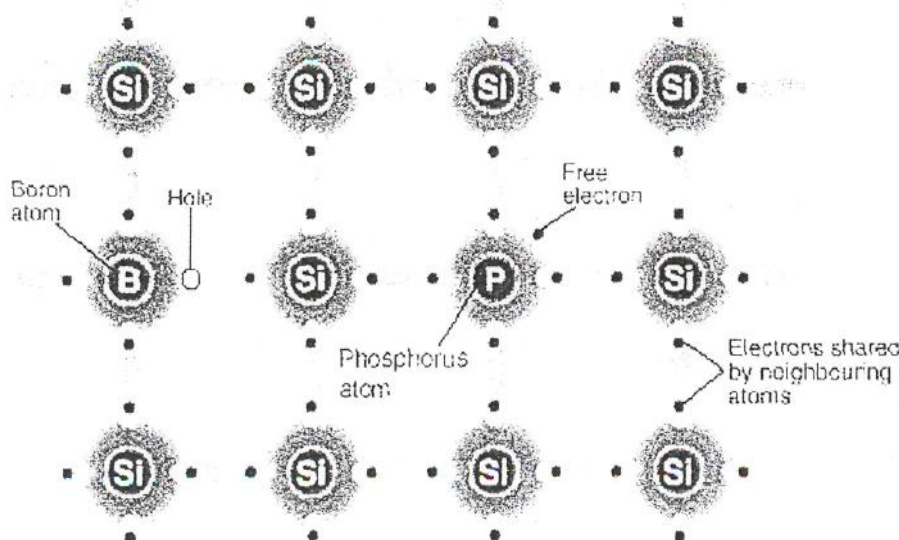
## 1.2. Ημιαγωγοί Φωτοβολταϊκών.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όπως αναφέρθηκε προηγουμένως κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή όπως το πυρίτιο (Si). Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή. Η ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομα του, προκαλεί την απελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Αυτά τα ηλεκτρόνια σθένους απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους στο κρυσταλλικό πλέγμα, χάρη στην κινητική ενέργεια που απόκτησαν και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στη ζώνη αγωγιμότητας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής.

Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών του κρυστάλλου προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας π.χ. αν δεχθούν μια δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια  $h\nu$  μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο ( $E_g > h\nu$ ), δε μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα που προσφέρονται είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού ( $E_g < h\nu$ ), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και

να το διεγείρει προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μία οπή. Ο παραπάνω μηχανισμός διέγερσης εξαρτάται και από το αν ο ημιαγωγός είναι άμεσος ή έμμεσος.

Αν τώρα ο τετρασθενής ημιαγωγός Si, νοθευτεί με κάποιο πεντασθενές στοιχείο (φώσφορος, P) ή με κάποιο τρισθενές στοιχείο (βόριο, B), τότε έχουμε ημιαγωγό προσμίξεως τύπου-n και τύπου-p αντίστοιχα



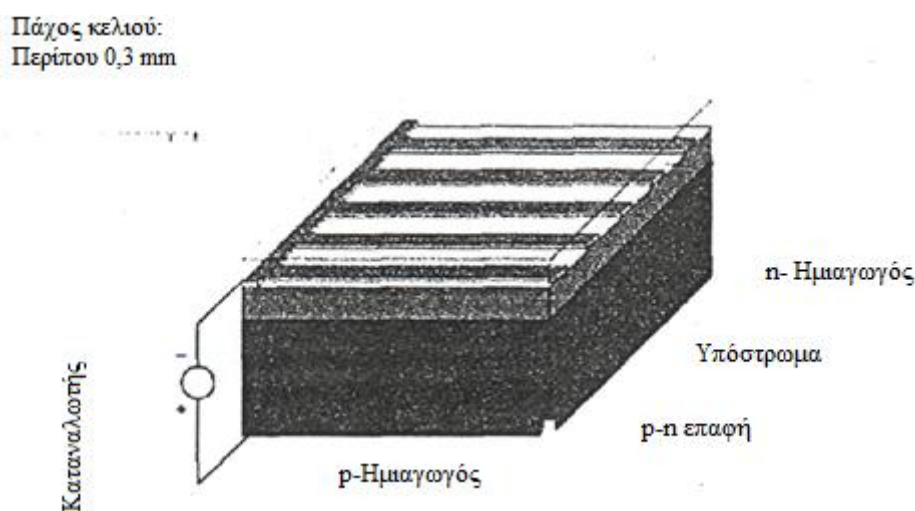
Σχήμα 1.5 Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα νόθευσης.

Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου P, θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς (σχήμα 1.5). Το πέμπτο ηλεκτρόνιο (φορέας πλειονότητας) θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό πυρηνικό φορτίο του P και με λίγη ενέργεια μπορεί να αποσπασθεί και να κινείται σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο, αφήνοντας ένα ανιόν (P<sup>+</sup>) που μένει ακίνητο στο πλέγμα. Δηλαδή το πεντασθενές άτομο συμπεριφέρεται στο πλέγμα σαν δότης ηλεκτρονίων (ημιαγωγός τύπου-n). Αντίστοιχα, με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων B σε πλεγματικές θέσεις του Si, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς (σχήμα 1.5). Με την απορρόφηση λίγης ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να καλύψει την κενή θέση, αφήνοντας παράλληλα στην προηγούμενη θέση του μια οπή και μετατρέποντας το άτομο B σε κατιόν (B<sup>-</sup>). Δηλαδή το τρισθενές άτομο συμπεριφέρεται σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων (φορέας μειονότητας) ή δότης οπών (ημιαγωγός τύπου-p).

Όταν σε μια περιοχή του ημιαγωγού υπάρχει δημιουργία ή έκχυση φορέων σε περίσσεια, αυτοί διαχέονται προς τις άλλες περιοχές του ημιαγωγού όπου η συγκέντρωση των αντίστοιχων φορέων είναι μικρότερη. Επίσης όταν έλθουν σε στενή επαφή ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου p με ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου n, δηλαδή σχηματιστεί μια ένωση p-n (διάταξη διόδου ημιαγωγού), τότε ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου p όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πολύ λιγότερα. Η ανάμιξη αυτή των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια (περιοχή αραίωσης) των τεμαχίων τύπου p και n, ανατρέπουν την ισορροπία που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που να ικανοποιούν τον νόμο δράσης

των μαζών. Η συγκέντρωση των κατιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα τύπου p και n, παραμένουν αμετάβλητες αφού τα ιόντα, όπως συνήθως όλα τα άτομα στα στερεά, μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική ουδετερότητα και οι δύο πλευρές της ένωσης p-n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργείται λοιπόν μια διαφορά δυναμικού, που η τιμή της είναι σχετικά μικρή, αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η διόδος που περιέχει την ένωση p-n, παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με την φορά του.

Στο σχήμα 1.6 φαίνεται μία υλοποίηση διόδου σε ένα κρυσταλλικό ηλιακό κύτταρο πυριτίου.



Σχήμα 1.6 Ηλιακό κύτταρο κρυσταλλικού πυριτίου.

### 1.3. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Τα ηλιακά στοιχεία είναι διόδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.6. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μια περίσσεια από ζεύγη φορέων πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου προσήμου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n, οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ηλεκτροστατικού της πεδίου. Με τον τρόπο αυτό, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Η εκδήλωση της τάσης αυτής ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διάταξη αποτελεί μια πηγή ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου.

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα  $I_{ph}$ , που η τιμή του θα είναι ανάλογη



προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Η πυκνότητα του φωτορεύματος δίνεται από τη σχέση 1.1 :

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)[1 - R(\lambda)]\Phi(\lambda)d\lambda \quad (1.1)$$

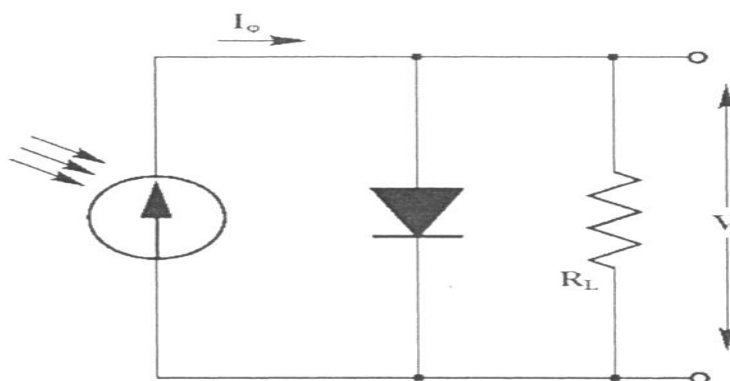
όπου  $e$ , είναι το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο και  $\lambda_g$ , το μέγιστο χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος ακτινοβολίας στον ημιαγωγό.  $S(\lambda)$  είναι η φασματική απόκριση που ορίζεται ως το πλήθος των φορέων που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φωτοβολταϊκού στοιχείου σε σχέση με τη φωτονική ροή  $\Phi(\lambda)$ , δηλαδή με το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από  $\lambda$  μέχρι  $\lambda+d\lambda$ .  $R(\lambda)$  είναι ο δείκτης ανάκλασης της επιφάνειας του στοιχείου.

#### 1.4. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών.

Για να γίνει μια εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία διόδο και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα του σχήματος 1.7 παρακάτω. Στο ισοδύναμο αυτό δεν συμπεριλαμβάνεται η αντίσταση λόγω της κίνησης των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια, όπως ακόμα και η μη άπειρη αντίσταση διαμέσου της διόδου και τα αναπόφευκτα ρεύματα διαρροής.

Σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί ισορροπία όταν η τάση που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα, για το οποίο και θα ισχύει:

$$I_{\phi} = I_0 \left( e^{\frac{eV}{\gamma kT}} - 1 \right) \quad (1.2)$$



Σχήμα 1.7. Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

όπου  $I_0$ , είναι το ανάστροφο ρεύμα κόρου,  $e$  το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο,  $k$  η σταθερά Boltzmann,  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία και  $\gamma$  ένας συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2. Από την παραπάνω σχέση, η τάση ανοιχτοκυκλώματος θα είναι:

$$V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln\left(\frac{I_{\phi}}{I_0} - 1\right) \quad , \quad \Rightarrow V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln\left(\frac{I_{\phi}}{I_0}\right) \quad I_0 < I_{\phi} \quad (1.3)$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει τη λογαριθμική μεταβολή της  $V_{oc}$  σε συνάρτηση με το  $I_{\phi}$ , δηλαδή με την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και την εξάρτηση της από τις διάφορες ιδιότητες του ημιαγωγού. Στην άλλη ακραία περίπτωση, δηλαδή σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, το ρεύμα βραχυκύκλωσης θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρρευμα,  $I_{sc}=I_{\phi}$ .

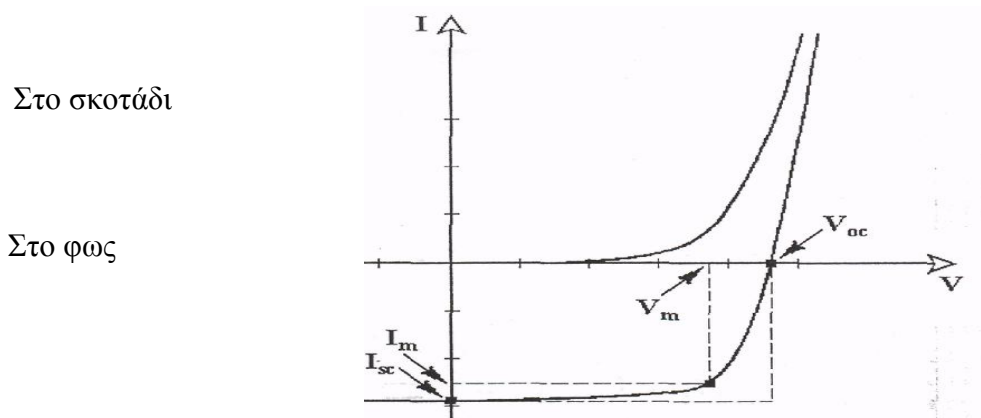
Όταν το κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου κλείσει διαμέσου μιας εξωτερικής αντίστασης  $RL$ , το ρεύμα θα πάρει μια μικρότερη τιμή  $I_L$  που βρίσκεται με τη λύση της εξίσωσης :

$$I_L = I_{\phi} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{e \cdot I_L \cdot RL}{\gamma \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (1.4)$$

Προφανώς θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης, δηλαδή του φορτίου του κυκλώματος, για την οποία η ισχύς που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο θα γίνεται μέγιστη ( $P_m = I_m \cdot V_m$ ). Στις συνθήκες αυτές, θα αντιστοιχεί μια βέλτιστη τάση  $V_m$ , που δίνεται από τη λύση της εξίσωσης:

$$\frac{I_{\phi}}{I_0} + 1 = \left( 1 + \frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T} \right) \cdot e^{\frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T}} \quad (1.5)$$

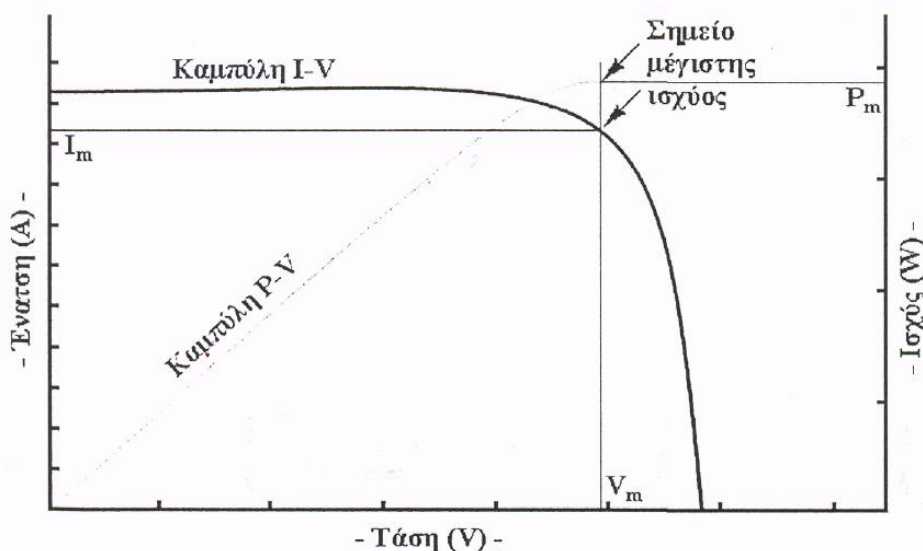
Στο διάγραμμα του σχήματος 1.8, φαίνονται τα παραπάνω χαρακτηριστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων και καθορίζουν την απόδοσή τους.



Σχήμα 1.8 Χαρακτηριστική καμπύλη έντασης ( $I$ ) - τάσης ( $V$ ) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο σκοτάδι και στο φως.

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Επίσης ένας παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της  $V_{oc}$  και αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας (και θερμοκρασίας) και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (βραχυκυκλωμένη κατάσταση με μέγιστη τιμή ρεύματος,  $I_{sc}$  και μηδενική τάση) και άπειρη αντίσταση (ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση με μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης,  $V_{oc}$ ), όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.9.



Σχήμα 1.9 Καμπύλες I-V και P-V φωτοβολταϊκού στοιχείου Si για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

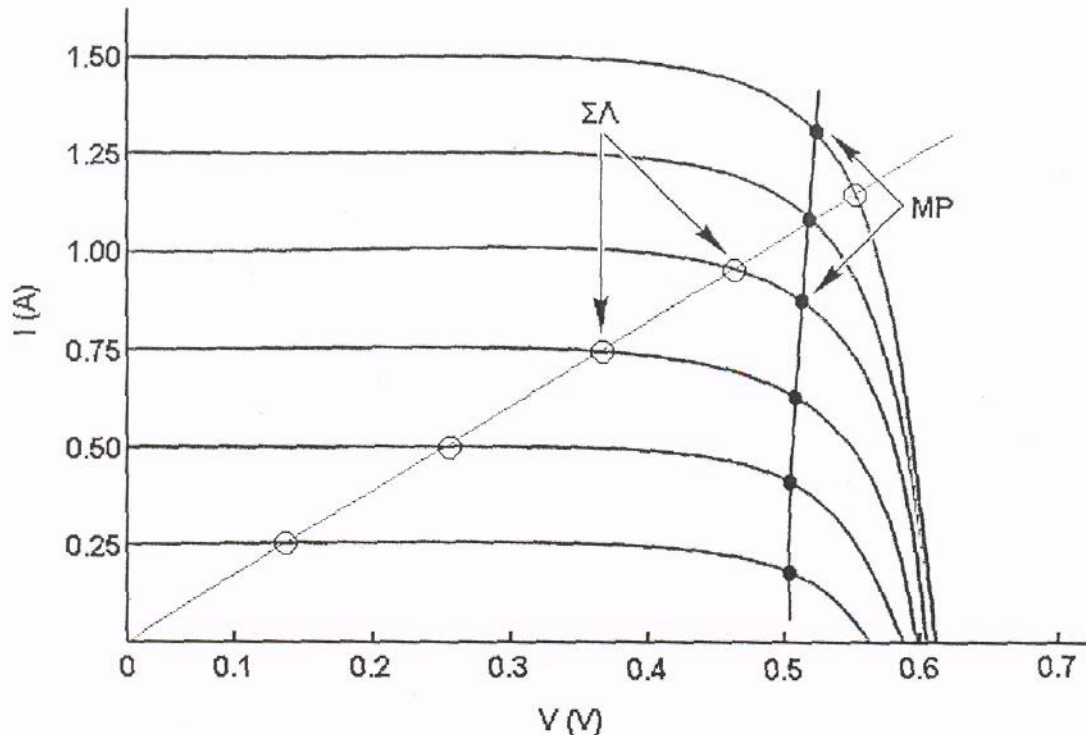
Παράλληλα μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη τιμή  $P_m$  σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης  $V_m$  και έντασης  $I_m$  για το οποίο η καμπύλη της ισχύος ως προς την τάση (P-V) παρουσιάζει μέγιστο. Διαφορετικά μπορεί να ειπωθεί, ότι για τις τιμές αυτές των  $I_m$  και  $V_m$ , το εμβαδόν του ορθογωνίου που σχηματίζεται από την I-V καμπύλη και τους άξονες τάσης και έντασης ρεύματος, γίνεται μέγιστο. Η μαθηματική συνθήκη για το σημείο μέγιστης ισχύος είναι:

$$dP = \frac{\partial P}{\partial I} \cdot dI + \frac{\partial P}{\partial V} \cdot dV = 0 \Rightarrow \quad (1.6)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial I} = V, \frac{\partial P}{\partial V} = I\right) \quad \frac{dV}{dI} = -\frac{V_m}{I_m} = R_m \quad (1.7)$$

όπου  $R_m$  είναι η δυναμική αντίσταση του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Αυτή η δυναμική αντίσταση είναι μια συνάρτηση της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των στοιχείων. Επομένως για τη μεταφορά μέγιστης ισχύος από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο φορτίο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, πρέπει να γίνεται ταίριασμα του φορτίου στη μονίμως μεταβαλλόμενη δυναμική αντίσταση της γεννήτριας. Υπάρχει κατάλληλη συσκευή ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών που παρακολουθεί αυτό το σημείο μέγιστης ισχύος, επιτρέποντας μια όσο το δυνατό μεγαλύτερη παροχή ηλεκτρικής ισχύος από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια προς το φορτίο και τη μπαταρία του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για διάφορα επίπεδα εντάσεως της ηλιακής ακτινοβολίας και διαφορετικές θερμοκρασίες των ηλιακών κυττάρων. Η μεταβολή της πυκνότητας της ισχύος της ακτινοβολίας συνεπάγεται αντίστοιχη μεταβολή της  $V_{oc}$  και της  $I_{sc}$  από το μηδέν για το σκοτάδι, μέχρι τις μέγιστες τιμές τους για τη μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας. Επίσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αισθητή μείωση της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης,  $V_{oc}$  των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Παρατηρώντας το σχήμα 1.10 που ακολουθεί, για την ακτινοβολία που δίνει  $I_{sc}=1.25$  A έχουμε περίπου  $I_m=1.1$  A και  $V_m=0.5$  V. Επομένως η κατάλληλη αντίσταση του κυκλώματος για να παράγεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι  $R_L=V_m/I_m=0.5/1.1=0.455$  Ω. Η αντίσταση αυτή όπως φαίνεται και στο σχήμα, είναι εντελώς ακατάλληλη για όλες τις άλλες συνθήκες ακτινοβολίας, αφού η ευθεία με κλίση  $1/0.455$  τέμνει τις αντίστοιχες καμπύλες I-V σε σημείο διαφορετικό από το σημείο μέγιστης ισχύος. Η τιμή της εσωτερικής αντίστασης του συσσωρευτή (και σε σχέση με το φορτίο κατανάλωσης) στο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα καθορίζει κατά πόσο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος θα λειτουργεί η φωτοβολταϊκή γεννήτρια στα μεταβαλλόμενα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στα ηλιακά στοιχεία.



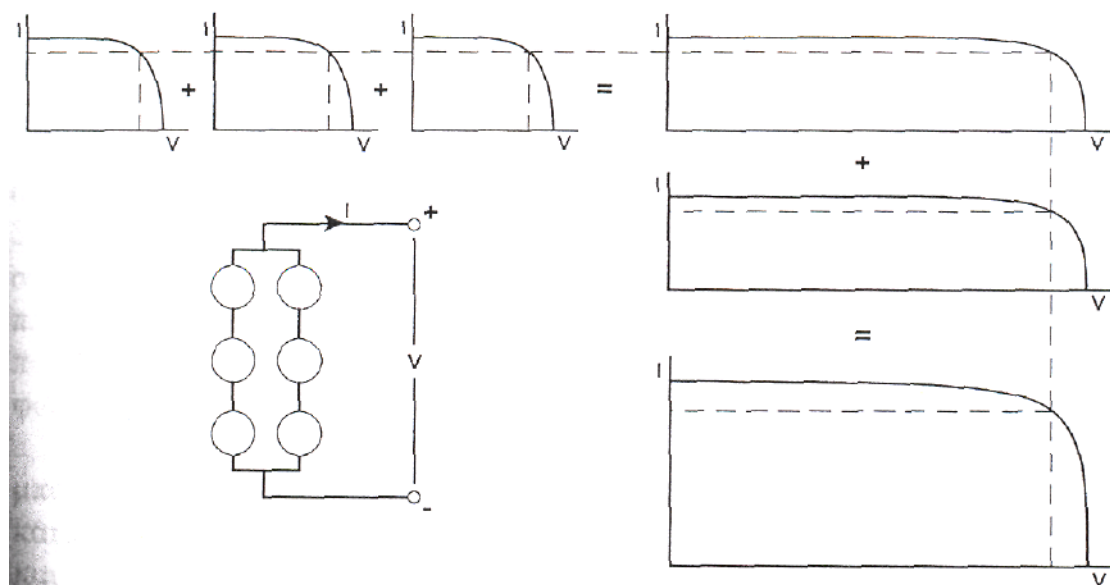
Σχήμα 1.10 - Η μετατόπιση των σημείων λειτουργίας ( $\Sigma\Lambda$ ) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πυριτίου και η απομάκρυνση του από τα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης ισχύος (MP) της I-V καμπύλης, για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά για σταθερή τιμή της αντίστασης του κυκλώματος που τροφοδοτεί το στοιχείο.

### 1.5 Φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Η τάση και η ισχύς των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Ειδικότερα, η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις 0.5 V περίπου και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μέχρι μόλις 0.4 W περίπου. Επίσης, είναι γνωστό ότι υπό ιδανικές συνθήκες δύο ή περισσότερες ίδιες πηγές τάσης σε σειρά προστίθενται όπως προστίθενται και δύο ή περισσότερες πηγές ρεύματος που συνδέονται παράλληλα. Για τον λόγο αυτό τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση φωτοβολταϊκών γεννητριών συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα και τοποθετούνται σε ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο ώστε να τροφοδοτούν την έξοδό τους με την επιθυμητή από τον κατασκευαστή τάση και ισχύ.

Όταν τα ηλιακά κύτταρα έχουν τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά, η μέγιστη ισχύς που παίρνουμε από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ισούται με το γινόμενο της μέγιστης ισχύος που μπορεί να τροφοδοτήσει κάθε στοιχείο ξεχωριστά, επί τον αριθμό των στοιχείων. Η μέγιστη τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου προσδιορίζεται από τον αριθμό συγκεκριμένων ηλιακών στοιχείων που συνδέονται σε σειρά και το μέγιστο ρεύμα στην έξοδο (για κανονικά επίπεδα ηλιοφάνειας) προσδιορίζεται από τον αριθμό των στοιχείων (ή ομάδα εν σειρά στοιχείων) που συνδέονται παράλληλα. Η χαρακτηριστική I-V καμπύλη ενός συνόλου ίδιων ηλιακών στοιχείων

συνδεδεμένων σε σειρά ή/και παράλληλα, προκύπτει με αντίστοιχο συνδυασμό των χαρακτηριστικών των επιμέρους στοιχείων όπως φαίνεται στο σχήμα 1.11.



Σχήμα 1.11 I-V χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού πλαισίου με στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που κυκλοφορούν στο εμπόριο, αποτελούνται από τα στοιχεία τα οποία προστατεύονται από πάνω με φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού και από κάτω με φύλλο ανθεκτικού υλικού, συνήθως μετάλλου ή ενισχυμένου πλαστικού. Το πάνω και κάτω προστατευτικό φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους στεγανά και μόνιμα. Διαμορφώνεται έτσι η βιομηχανική μονάδα η οποία χρησιμοποιείται ως συλλέκτης στη συγκρότηση των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Στο εμπόριο συνήθως τα πλαίσια παρουσιάζουν τάσεις από 4 V ως 22 V, ρεύμα 0.5 A ως 2.5 A, ισχύ αιχμής (παραγόμενη μέγιστη ισχύς όταν το πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος  $1\text{ kW/m}^2$ ) 2 Wp ως 60 Wp και συντελεστή απόδοσης 6% ως 12%. Επίσης, συχνά χρησιμοποιούνται στα πλαίσια δίοδοι για την προστασία (δίοδοι απομόνωσης, blocking diodes) και την βελτίωση της απόδοσης τους (δίοδοι παράκαμψης, bypass diodes). Πολύ σημαντικός είναι ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων της συστοιχίας σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας και περιγράφεται με την κλίση και την αζιμούθια γωνία των πλαισίων. Προφανώς η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε ένα συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις, τα πλαίσια τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία πρόσπτωσης να είναι όσο το δυνατό μικρότερη κατά τη διάρκεια του έτους. Στο βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και η αζιμούθια γωνία είναι  $0^\circ$  (προς νότο). Βέβαια η βέλτιστη κλίση, λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, είναι διαφορετική για κάθε εποχή οπότε και επιλέγεται, ανάλογα με την εφαρμογή, κάποια διαφοροποίηση στην κλίση από την παράλληλο. Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες βέβαια, είναι δυνατό εκτός από τη συστοιχία να περιλαμβάνουν και επιπλέον εξοπλισμό και με βάση αυτόν

κατατάσσονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες. Τις απλές διατάξεις, όπου τα πλαίσια τοποθετούνται σε σταθερό σημείο και η συστοιχία δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία με τη φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας. Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά στοιχεία να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Τις διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά στοιχεία.

Για την αποφυγή υπερθέρμανσης, στις συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνητή ψύξη των στοιχείων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών υγρών.

## 2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Γενικά αιολική ενέργεια [7] ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στη ξηρά. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

### 2.1 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών [7]. Ως εκ τούτου, οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας.

Δράσεις για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχουν γίνει σε ολόκληρη τη χώρα, ενώ στο γεγονός αυτό έχει συμβάλει και η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ΑΠΕ, η οποία ενθαρρύνει και επιδοτεί επενδύσεις στις Ήπιες μορφές ενέργειας. Αλλά και σε εθνική κλίμακα, ο νέος αναπτυξιακός νόμος 3299/04, σε συνδυασμό με το νόμο για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 3468/06, παρέχει ισχυρότητα κίνητρα ακόμα και για επενδύσεις μικρής κλίμακας.

Η περιφέρεια της Δυτικής Ελλάδας αν και έχει μικρότερο αιολικό δυναμικό σε σύγκριση με άλλες περιοχές, διαθέτει ένα ισχυρό ηλεκτρικό δίκτυο και το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη ανεμωδών «νησίδων» (λόφοι, υψώματα κλπ. με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό) την καθιστούν ενδιαφέρουσα για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων.

Αιολικά πάρκα υπάρχουν και σε πλήθος νησιών, όπως το Αιολικό Πάρκο «Μανολάτη - Ξερολίμπα» του Δ.Δ. Διλιναίων Δήμου Αργοστολίου στην Κεφαλονιά. Στο ίδιο νησί έχουν ήδη δημιουργηθεί δυο ακόμη αιολικά πάρκα: το Αιολικό Πάρκο "Αγία Δυνατή" του Δήμου Πυλαρέων, και το Αιολικό Πάρκο "Ημεροβίγλι" στα

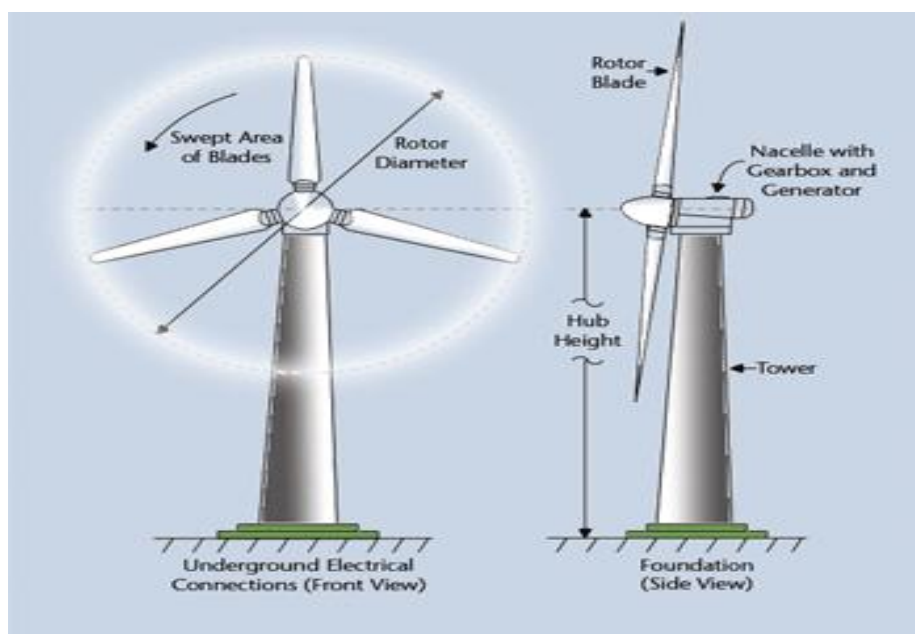
διοικητικά όρια των Δήμων Αργοστολίου και Πυλαρέων. Με τη λειτουργία των τριών αιολικών πάρκων ο Νομός Κεφαλληνίας τροφοδοτεί το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας με ένα σύνολο 75,6 MW ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον, σε διαδικασία αδειοδότησης βρίσκονται πέντε ακόμη μονάδες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια και σε περίοδο αιχμής (Αύγουστος) ανέρχονται σε 50MW. Η αντιστοιχία μεταξύ της ισχύος που αποδίδει η Κεφαλονιά στο δίκτυο και της ισχύος που καταναλώνει είναι εξαιρετικά ενθαρρυντική για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας και σε πολλά ακόμη νησιά της επικράτειας.

## 2.2 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες [7] (α/γ) είναι οι ηλεκτρομηχανολογικές μηχανές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρισμό, είτε σε απευθείας σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο, είτε τροφοδοτώντας ένα αυτόνομο σύστημα. Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι τύποι α/γ ανάλογα με την τεχνολογία που τις διακρίνει.

### 2.2.1 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Όπως λέει και το όνομά τους τα πτερύγια τους κινούνται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα, ενώ το επίπεδο περιστροφής βρίσκεται σχεδόν κάθετα στη φορά του ανέμου. Ο συγκεκριμένος τύπος ανεμογεννήτριας βρίσκεται σήμερα εγκατεστημένος από το 1992 σε δύο αιολικά πάρκα της ΔΕΗ ΑΕ στις θέσεις Μαρμάρι Ευβοίας και Μονή Τοπλού Κρήτης. Με τα σημερινά δεδομένα αυτή θεωρείται μηχανή μικρής ισχύος, αν σκεφτεί κανείς ότι υπάρχουν και λειτουργούν γίγαντες των 3 MW, ενώ το 2005 μπήκε σε λειτουργία μηχανή των 5 MW. Στο σχ. 2.1 Φαίνεται η πρόσοψη και η πλάγια όψη μιας τυπικής ανεμογεννήτριας.



Drawing of the rotor and blades of a wind turbine, courtesy of ESN

Σχ .2.1 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.



Τα πρώτα στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε για μια ανεμογεννήτρια είναι:  
Η ονομαστική ισχύς (nominal power) της α/γ: P (300 kW).  
Η διάμετρος (diameter) του δρομέα: D (25m).  
Η επιφάνεια του δρομέα =  $\pi (D/2)^2$  (490,6 m<sup>2</sup> ).  
Το ύψος του άξονα περιστροφής (hub height), ή ύψος πλήμνης: Hr (30,25 m).  
Το ανώτατο ύψος που φτάνει το πτερύγιο: Ht (42,72 m).  
Το κατώτατο ύψος (ground clearance) που φτάνει το πτερύγιο: Hc (17,71 m).  
Ο θάλαμος μηχανισμών (nacelle) ή κλωβός ή κουβούκλιο όπου υπάρχουν το κιβώτιο ταχυτήτων, η γεννήτρια και τα λοιπά συστήματα της μηχανής. Σε παρενθέσεις αναφέρονται ενδεικτικά τα στοιχεία μια α/γ τύπου 300 KW-25 Windmaster.

Οι μηχανές έχουν συνήθως τρία πτερύγια, ενώ υπάρχουν μηχανές με δύο ή ακόμη και με ένα πτερύγιο (monopterous). Κατά τη λειτουργία τους οι α/γ καταπονούνται δυναμικά και υπόκεινται σε ταλαντώσεις. Τα φορτία στα πτερύγια μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της περιστροφής λόγω της καθ' ύψους μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου (ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα). Αυτό έχει ως συνέπεια η ροπή στα πτερύγια να παρουσιάζει κυκλική μεταβολή. Η μεταβολή αυτή είναι ασθενής στις τριπτέρυγες α/γ που προτιμώνται σήμερα για αυτόν το λόγο. Οι μεταβολές των φορτίων λόγω του οριακού στρώματος επιβάλλουν την κλίση του άξονα περιστροφής ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η αεροδυναμική ανάλυση του δρομέα αποδεικνύει ότι η κλίση συμβάλλει στη μείωση των φορτίων. Επιπρόσθετα η κλίση δημιουργεί την κατάλληλη απόσταση (1503 mm) που αποκλείει τη σύγκρουση των περιστρεφόμενων πτερυγίων. Η κωνικότητα των πτερυγίων (cone angle) μειώνει επίσης στο ελάχιστο τις καμπτικές τάσεις στα πτερύγια. Όλες οι σύγχρονες α/γ Ο.Α. έχουν το δρομέα ανάντι του πυλώνα στήριξης. Οι μηχανές που έχουν το δρομέα κατάντι έχουν το πλεονέκτημα του αυτόματου προσανατολισμού, αλλά οι διαταραχές που προκαλεί ο πυλώνας στη ροή του ανέμου επάγουν ανεπιθύμητες μεταβολές στα αεροδυναμικά φορτία κατά τη διέλευση του πτερυγίου (φαινόμενο σκίασης πυλώνα), καθώς επίσης αυξάνουν τον αεροδυναμικό θόρυβο κατά τη λειτουργία. Για τους λόγους αυτούς προτιμώνται οι α/γ με πτερύγια προσανατολισμένα ανάντι του πυλώνα.

Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται διάφορα χαρακτηριστικά των α/γ οριζοντίων αξόνων.

Ισχύς kW	Διάμετρος δρομέα D (m)	Ύψος Hr (m)
50	15	30-37
100	21	34
200	26	30
300	25	30,2
400	35,4	40
500	40,8	39
750	50	50
1000	53-60	58-70
1500	60-66	68-100
2000	72	68
2500	80	80
3000	80,5	80
5000	126	90/100/120

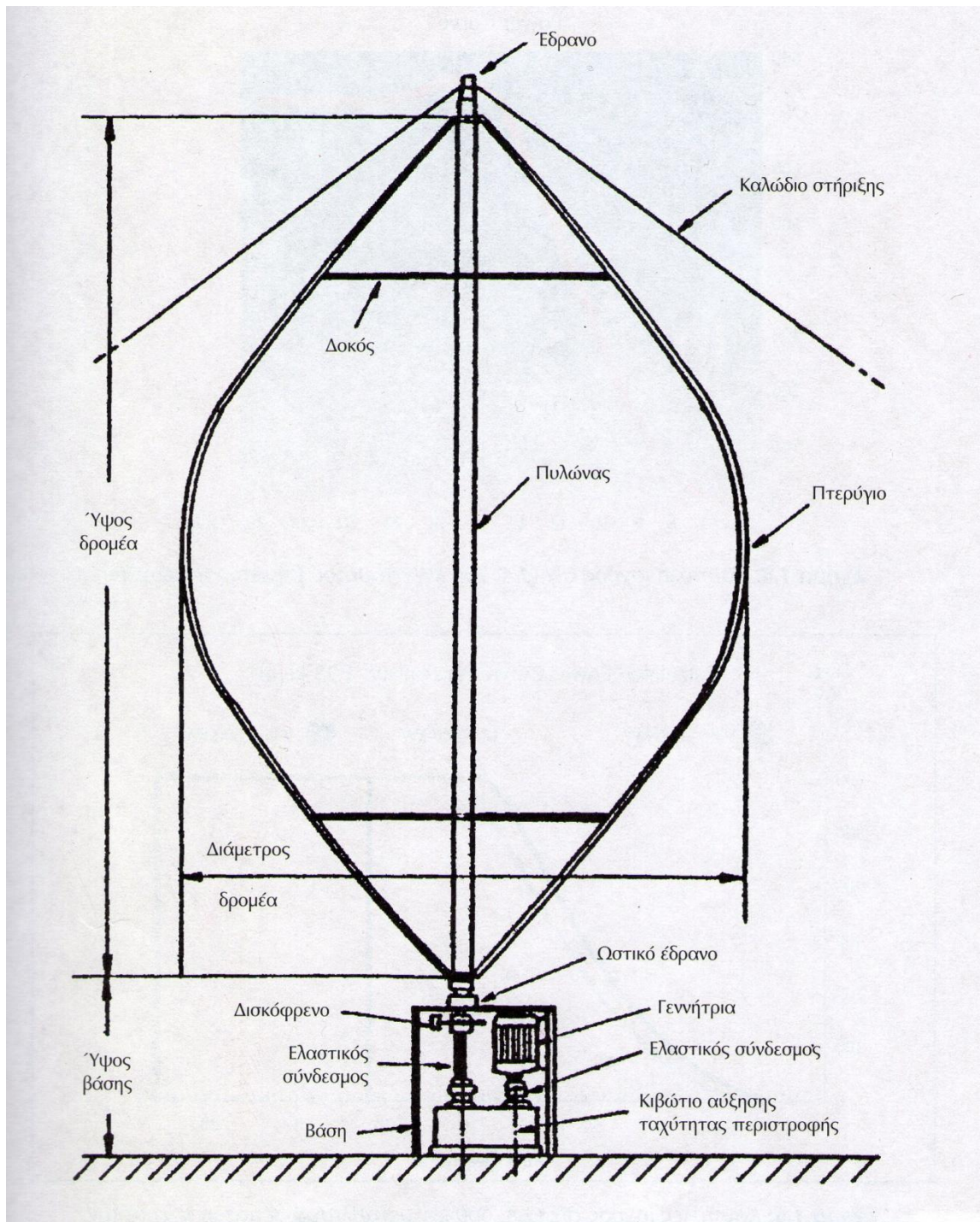
Πίνακας 2.1 Διάφορα χαρακτηριστικά φυσικού μεγέθους α/γ οριζόντιου άξονα.

### 2.2.2 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (vertical axis WTs).

Στο σχήμα 2.2 φαίνονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας α/γ ονομαστικής ισχύος 100 kW τύπου Darrieus. Όπως υποδηλώνει και το όνομά τους τα πτερύγια τους περιστρέφονται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα κάθετο στην επιφάνεια του εδάφους και κάθετο στη ροή του ανέμου. Η συγκεκριμένη μηχανή είναι επιδεικτική και τοποθετήθηκε στη Σκύρο. Η διάμετρος του δρομέα είναι 19,2 m, το ύψος του δρομέα είναι 25 m, ενώ το ύψος της βάσης 2,66 m. Στηρίζεται στο έδαφος με 3 αντηρίδες.

### 2.2.3 Καμπύλη ισχύος α/γ (power curve) και πιστοποίηση.

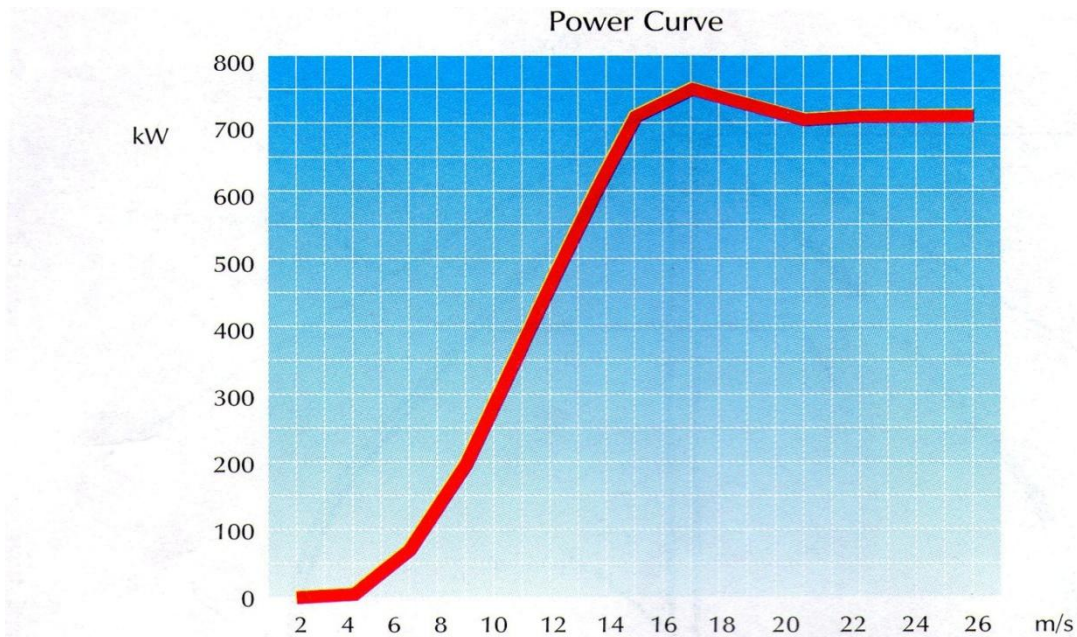
Η καμπύλη ισχύος μιας α/γ δείχνει την ισχύ της μηχανής σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου σε συγκεκριμένο ύψος από το έδαφος. Το ύψος αυτό συνήθως είναι το ύψος του άξονα της περιστροφής Hr. Ορισμένοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν επίσης την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m από το έδαφος (10 m AGL = Above ground level). Διακρίνουμε δύο τύπους καμπύλων ισχύος, αυτήν από α/γ με σταθερό βήμα πτερυγίων, που φαίνεται στο σχήμα 2.3 και αυτήν της α/γ με μεταβλητό βήμα πτερυγίων, που φαίνεται στο σχήμα 2.4 Οι α/γ μεταβλητού βήματος χρησιμοποιούν τη δυνατότητα της κλίσης των πτερυγίων έτσι, ώστε σε υψηλές ταχύτητες ανέμου η αποδιδόμενη ισχύς να μην υπερβαίνει την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας.



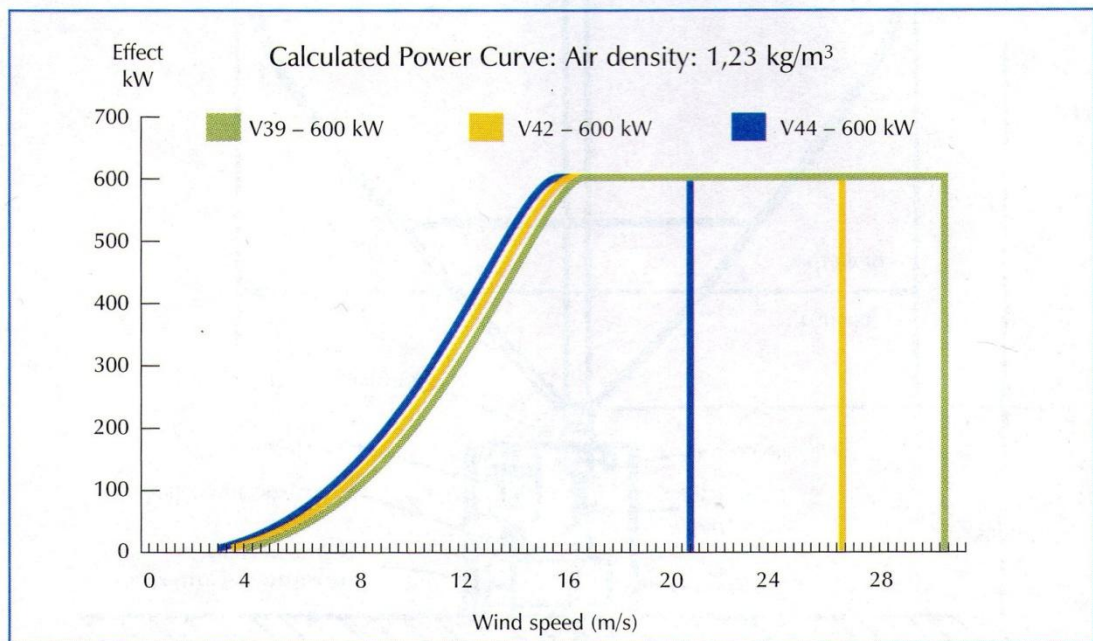
Σχ. 2.2 Η ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα της Σκύρου

Η α/γ εκκινεί μόνον όταν η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης είναι ίση με την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (cut In wind speed  $V_{ci}$ ). Τότε η μηχανή αρχίζει να αποδίδει ωφέλιμη ισχύ, αφού η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου. Η αποδιδόμενη ισχύς αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η ταχύτητα του ανέμου μέχρι να φτάσει την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας. Η ταχύτητα αυτή ονομάζεται και ονομαστική ταχύτητα ανέμου (Rated wind speed VR). Μετά την επίτευξη της ονομαστικής ισχύος επιδιώκεται σταθερή ισχύς, η οποία στις μηχανές μεταβλητού βήματος επιτυγχάνεται με αλλαγή της γωνίας κλίσεως των

πτερυγίων. Στις μηχανές σταθερού βήματος (stall machines) παρατηρείται μια φθίνουσα απόδοση για ταχύτητες μεγαλύτερες της VR.



Σχ. 2.3 Καμπύλη ισχύος α/γ Ο.Α. 750 kW σταθερού βήματος πτερυγίου.



Σχ. 2.4 Καμπύλες ισχύος α/γ Ο.Α. 600 kW μεταβλητού βήματος πτερυγίων με διαμέτρους 39, 42 και 44 m.

Η μηχανή είναι εξαρχής σχεδιασμένη για ένα εύρος ταχυτήτων. Λόγοι ασφαλείας επιβάλλουν τη διακοπή λειτουργίας πάνω από ένα όριο που συνήθως είναι τα 25 m/s. Η ταχύτητα αυτή ονομάζεται ταχύτητα διακοπής λειτουργίας ή ανώτατη ταχύτητα λειτουργίας ή ταχύτητα τερματισμού και συμβολίζεται με VCO (Cut out wind speed).

Στον πίνακα 2.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ανωτέρω ταχύτητες για διαφορετικούς τύπους α/γ.

Ισχύς (KW)	Ύψος πλήμνης Hr (m)	Διάμετρος D (m)	V <sub>ci</sub> (m/s)	V <sub>R</sub> (m/s)	V <sub>co</sub> (m/s)
225	31,5	27	3,5	13,5	25
300	30	25	5	16	25
500	50	40,3	3	13	25
600	35-54,4	39	4,5	17	30
600	35-54,4	42	4,5	16	25
600	35-54,4	44	4,5	16	20
750	46 ή 56,5	44	3,5	16	25
1000	59 ή 70	60	3-4	16	20
1300	45/49/68	62	3	15	25
1500	60/68/80	64	4	16	25
2000	60	76	3	15	25
3000	78 ή 92	80	6	14	25
5000	90-100-120	126	3,5	13	25

Πίνακας 2.2 : Καθοριστικές ταχύτητες λειτουργίας ανεμογεννητριών.

Η πιστοποίηση των ανεμογεννητριών στο σύνολο τους γίνεται από έγκριτα εργαστήρια, μεταξύ των οποίων είναι και το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ΚΑΠΕ ([www.cres.gr](http://www.cres.gr)) που βρίσκεται στο Πικέρμι Αττικής. Το ΚΑΠΕ είναι ήδη σε θέση να διεξάγει τις εργαστηριακές δοκιμές που απαιτούνται ως μέρος της πιστοποίησης των α/γ, μια που το εργαστήριο των δοκιμών ανεμογεννητριών έχει διαπιστευτεί κατά EN ISO/IEC 17025.

#### 2.2.4 Επιλογή κλάσης ανεμογεννήτριας

Η επιλογή της κλάσης μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες κάτω από τις οποίες πρόκειται να λειτουργήσει η μηχανή, με έμφαση στις ακραίες ταχύτητες ανέμου που επικρατούν και την ένταση της τύρβης.

Σύμφωνα λοιπόν με το διεθνές πρότυπο οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν τις κλάσεις των α/γ φαίνονται στον πίνακα 2.3 που ακολουθεί.

Κλάση α/γ	I	II	III	S
Ταχύτητα αναφοράς V <sub>ref</sub> (m/s)	50	42,5	37,5	Οι τιμές των μεγεθών καθορίζονται από τον κατασκευαστή
A I <sub>ref</sub>	0,16	0,16	0,16	
B I <sub>ref</sub>	0,14	0,14	0,14	
C I <sub>ref</sub>	0,12	0,12	0,12	

Πίνακας 2.3 : Κλάσεις ανεμογεννητριών

Υπάρχουν τρεις κλάσεις οι I, II και III καθώς και ειδική κλάση S (special class). V<sub>ref</sub> ονομάζεται η ακραία ταχύτητα του ανέμου (μέση τιμή δεκάλεπτου) που στατιστικά μπορεί να εμφανιστεί σε περίοδο 50 ετών. I<sub>ref</sub> είναι η παράμετρος έντασης της τύρβης, όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι 15 m/s.

Μια ανεμογεννήτρια που έχει σχεδιαστεί για κλάση με ταχύτητα αναφοράς του ανέμου V<sub>ref</sub> είναι κατάλληλη για κλιματολογικές συνθήκες στις οποίες η ακραία μέση

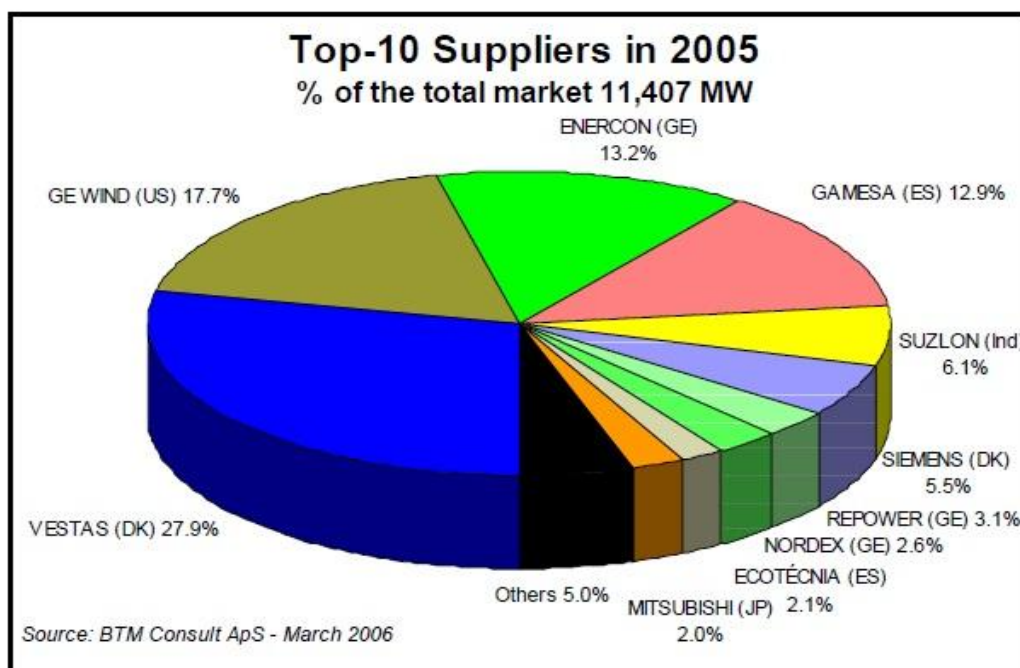
τιμή δεκαλέπτου της ταχύτητας του ανέμου σε περίοδο 50 ετών στο ύψος της πλήμνης της α/γ είναι μικρότερη ή ίση από την ταχύτητα αναφοράς

Η ανωτέρω κατηγοριοποίηση των α/γ χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των φορτίων που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία μιας μηχανής, προκειμένου, με τη χρήση αλγορίθμων, να τεκμηριωθεί η αντοχή της μηχανής τόσο κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, όσο και κάτω από ακραίες συνθήκες που μπορούν να συμβούν μια φορά σε 50 χρόνια.

#### 2.2.5 Το μέλλον των ανεμογεννητριών.

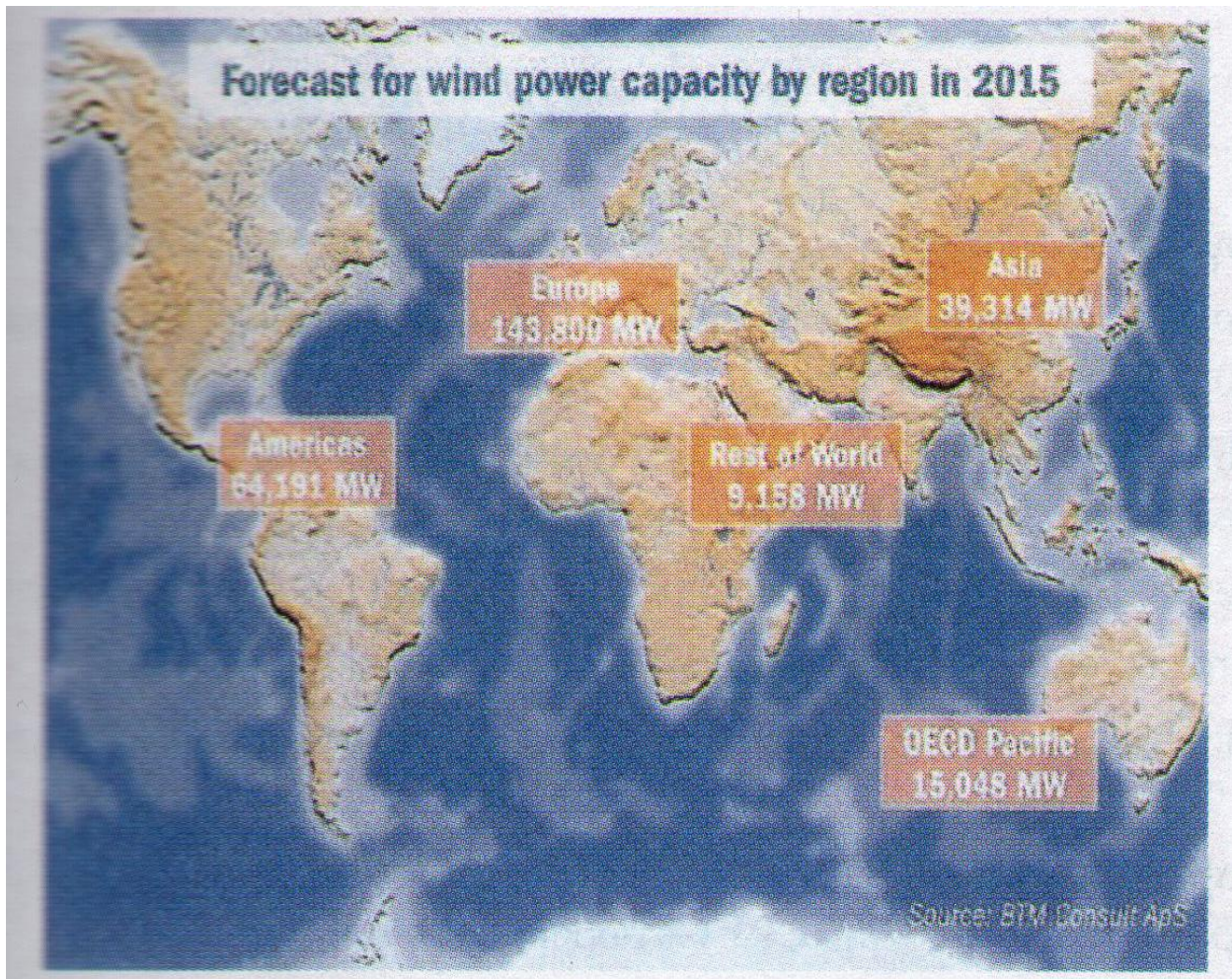
Οι εξελίξεις στην τεχνολογία, η αυξημένη αξιοπιστία των ανεμογεννητριών και η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον προοιωνίζουν ένα λαμπρό μέλλον παγκοσμίως. Σύμφωνα με τον έγκριτο οίκο αναλυτών BTM consult ApS της Δανίας, που ασχολείται με τη στατιστική καταγραφή και προβλέψεις των εξελίξεων της αιολικής τεχνολογίας, το 2005 ήταν το καλύτερο έτος από πλευράς εγκατεστημένων MW που έφτασαν τα 11.407 παγκοσμίως, με αποτέλεσμα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς να είναι 60.000 MW.

Το σχήμα 2.5 απεικονίζει την αγορά του 2005 με κορυφαίους κατασκευαστές τη δανέζικη εταιρία Vestas με μερίδιο αγοράς 27,9 %, δεύτερη την αμερικανική GE Wind με μερίδιο αγοράς 17,7%, τρίτη τη γερμανική ENERCON με μερίδιο 13,2 %, και τέταρτη την ισπανική GAMESA με μερίδιο αγοράς 12,9 %.



Σχήμα 2.5: Ποσοστιαία κατανομή των εγκατεστημένων 11407 MW ανά κατασκευαστή α/γ.

Ο ρυθμός αύξησης προβλέφθηκε πως θα ήταν ίσος με 16,4 % ετησίως μέχρι το 2010. Για την περίοδο 2011-2015 προβλέπεται ρυθμός αύξησης ίσος με 7% ετησίως. Το 2015 εκτιμάται ότι θα είναι εγκατεστημένα συνολικά 300.000 MW παγκοσμίως που θα καλύπτουν το 2,93% των ηλεκτρικών αναγκών της ανθρωπότητας.



Σχήμα 2.6: Εκτίμηση της εγκατεστημένης ισχύος το 2015 παγκοσμίως ανά γεωγραφική περιοχή.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρωτοστατεί στην ανάπτυξη νέων μηχανών και το αποδεικνύει έμπρακτα. Την 1/3/2006 άρχισε το ερευνητικό πρόγραμμα UpWind διάρκειας 60 μηνών που στοχεύει να δημιουργήσει τις μελλοντικές γενιές ανεμογεννητριών ονομαστικής ισχύος 8-10 MW. Οι μηχανές θα συμβάλλουν σε ένα ενεργειακό μέλλον με λιγότερη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

### 3. Ο ΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΜΟΡΦΟΤΡΟΠΕΑΣ

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μια καινοτόμος ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που αντί να μετατρέπει την ενέργεια από μηχανική ή αιολική σε ηλεκτρική, αντίθετα συλλέγει ηλεκτροστατική ενέργεια από την ατμόσφαιρα[6].

Ο συγκεκριμένος συλλέκτης έχει το σχήμα της πυραμίδας και έχει αποδειχτεί πως σε διαστάσεις της πυραμίδας της Γκίζας, οι αναλογίες της εκφράζουν τις θεμελιώδεις αναλογίες ενός ημιτονικού σήματος, καθώς επίσης και αναλογίες του αριθμού Fibonacci. Εφόσον οι χοανοειδής κεραίες της πυραμίδας είναι κατάλληλες για την ανίχνευση μικρών παλμών κυματομορφών, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως το σχήμα της πυραμίδας της Γκίζας θα μπορούσε να ενσωματώσει ένα χρονικό τομέα και ευρυζωνικές κεραίες για τις διεγέρσεις της ατμοσφαιρικής ηλεκτροστατικής

εκκένωσης. Αυτή η θεώρηση επιβεβαιώθηκε μεταγενέστερα. Βρέθηκε πως η πυραμιδική κεραία, εγκατεστημένη σε ένα μοντέλο με διαστάσεις ανάλογες της Πυραμίδας της Γκίζας, μπορεί να συνδεθεί με την ατμόσφαιρα και να μεταφέρει την ισχύ των ηλεκτροστατικών εκκενώσεων σε ένα καινοτόμο προεξέχοντος σχήματος κύκλωμα αντήχησης το οποίο μετατρέπει τις τυχαίες εκκενώσεις σε μια σειρά από κανονικές εκθετικής μείωσης ημιτονοειδείς κυματομορφές. Έτσι οι ηλεκτροστατικές εκκενώσεις μπορούν να μετατραπούν σε μια εναλλασσόμενη τάση προβλεπόμενης συχνότητας. Αυτό το σύστημα μπορεί να γίνει μια ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας με την εκμετάλλευση της ηλεκτρικής δραστηριότητας της ατμόσφαιρας.

### 3.1 Εισαγωγικά.

Ο ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός εκδηλώνεται ως μια συσσώρευση ηλεκτροστατικής ενέργειας, ένα φαινόμενο που συνεχώς ηλεκτρίζει το περιβάλλον μας. Στο παγκόσμιο ηλεκτρο-ατμοσφαιρικό κύκλωμα, η επιφάνεια της Γης είναι φορτισμένη αρνητικά ενώ η ατμόσφαιρα είναι φορτισμένη θετικά. Η διαφορική τάση μεταξύ της επιφάνειας της Γης και της ιονόσφαιρας εκτιμάται πως διατηρείται από την ηλεκτρική δραστηριότητα της τροπόσφαιρας καθώς και από το ηλιακό αιολικό ζεύγος μαγνητοσφαιρικού δυναμό.

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η ηλεκτρική ενέργεια των ηλεκτρικών καταιγίδων, μιας και τυπικά διατηρούν μια σταθερή κατάσταση ηλεκτρικών δομών κατά τη διάρκεια ζωής τους παρά τις απώλειες φορτίων από αστραπές, αποφορτίσεις ουράνιων στεμμάτων, ατμοσφαιρική κατακρήμνιση και αναταραχή. Ακόμα και με το κενό στην κατανόησή μας για τις ηλεκτρικές καταιγίδες και τη διαδικασία ηλεκτρισμού τους, μία πρόχειρη εκτίμηση του εύρους της ισχύος που παράγεται από τις ηλεκτρικές καταιγίδες μπορεί να οριστεί ως ακολούθως: οι ηλεκτρικές καταιγίδες μπορούν να εντοπιστούν με την παρακολούθηση της δραστηριότητας των καταιγίδων, περισσότερες από το 90% των οποίων συμβαίνει πρωτίστως πάνω από τις κυρίως χώρες της Κεντρικής Αφρικής, του Νότιου Κεντρικού μέρος των Ηνωμένων Πολιτειών και της λεκάνης του Αμαζονίου. Μια μετρίου μεγέθους καταιγίδα (περίπου 200 km διαμέτρου) με τάσεις εσωτερικές των σύννεφων της τάξης των 20 nA/m<sup>2</sup>, μπορεί να παράγει τουλάχιστον  $6,28 \times 10^{10}$  W περίπου. Υποθέτοντας 2.300 καταιγίδες σε κάθε δεδομένη στιγμή, η εκτιμώμενη μέση συνολική ισχύς της δραστηριότητας της καταιγίδας είναι περίπου  $1,44 \times 10^{14}$  W. Η παραγόμενη ισχύς ενός τυφώνα εκτιμάται περίπου στα  $10^{14}$  W, σε σύγκριση με τη συνολική παγκόσμια παραγωγή ισχύος που είναι μόνο  $3,625 \times 10^{12}$  W, ένα μικρό μόνο κομμάτι της ενέργειας που παράγεται στην τροπόσφαιρα από δραστηριότητα καταιγίδας. Αυτό συστήνει πως η πυκνότητα της ατμοσφαιρικής ηλεκτρικής δραστηριότητας μπορεί να είναι αρκετά υψηλή για εκμετάλλευση και δείχνει πως ο ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός, αν συλλεχθεί, μπορεί να αντιμετωπίσει τις ενεργειακές ανάγκες ολόκληρης της ανθρωπότητας.

Οι ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις (ESD) είναι τυχαίες και μικρής διάρκειας (της τάξης του nanosecond) καθώς επίσης και ευρείας συχνότητας εμφάνισης. Κεραίες ικανές να χειριστούν παρόμοιες βραχέων παλμών κυματομορφές μπορούν να βρεθούν σε συστήματα ραντάρ, όπου αποκαλούνται πυραμιδικές κεραίες απόληξης τύπου horn.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν, στη δημοφιλή επιστημονική βιβλιογραφία ανεξήγητα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα στις υπό κλίμακα κατασκευές της μεγάλης πυραμίδας της Γκίζας. Αυτά τα φαινόμενα δείχνουν μια ποικιλομορφία που κατέστησε την ερμηνεία τους δύσκολη. Υποτέθηκε πως τα συγκεκριμένα συμπεράσματα ήταν πιθανά λόγω φυσικών αυξομειώσεων στο ατμοσφαιρικό ηλεκτροστατικό πεδίο που



ανιχνεύθηκε από την πυραμίδα ως ένας χρονικός τομέας ευρυζωνικών κεραιών. Για αυτόν το λόγο, ερευνήθηκε εάν μία κεραία με πρότυπο την πυραμίδα θα μπορούσε να συλλέξει ατμοσφαιρικές ηλεκτροστατικές εκκενώσεις και εάν αυτές οι τυχαίες εκκενώσεις θα μπορούσαν μετέπειτα να μετατραπούν σε τάση AC ημιτονικής κυματομορφής προβλέψιμης συχνότητας. Αυτό θα μπορούσε να επιτρέψει μια άμεση μετατροπή της ενέργειας του δυναμικού ενός ηλεκτροστατικού πεδίου σε μια εναλλακτική τάση, καθιστώντας τις ατμοσφαιρικές ηλεκτροστατικές εκκενώσεις μια πιθανή πηγή παραγωγής ενέργειας εμπορικής εκμετάλλευσης.

### **3.2 Μέθοδοι και αποτελέσματα.**

Προηγουμένως αναφέρθηκε πως ένας πυκνωτής πυραμιδικού σχήματος μετατρέπει ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς σε υψηλής συχνότητας σήματα που μπορούν να ανιχνευθούν σε ένα μονωμένο πηνίο, τοποθετημένο κοντά σε σχέση με την πλάκα του πυκνωτή. Τέτοια δομή είναι ανάλογη προς μια εγκάρσια ηλεκτρομαγνητική κεραία (transversal electromagnetic antenna –TEM), καθώς επίσης και η πυραμιδικού σχήματος κεραία τύπου horn είναι κατάλληλη για την ανίχνευση εκκενώσεων βραχέας διάρκειας.

Εδώ αναφέρονται περαιτέρω εφαρμογές με αυτό το σύστημα συμπεριλαμβανομένου και του εντοπισμού μεταφοράς ενέργειας μεταξύ στοιχείων του συστήματος. Μια εργαστηριακή ενέργεια τύπου van der Graaf (VDG) χρησιμοποιήθηκε για να παράγει ένα ηλεκτροστατικό πεδίο παρόμοιο της ατμόσφαιρας και ένα Tektronix TPS2024, καθώς επίσης και TDS3054 ψηφιακοί ταλαντωτές για ανάκτηση του σήματος και αναλύσεις. Οι αναλύσεις σαρωτικού σήματος πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση γεννητριών σήματος Wavetek 185 και 187.

Αρχικά αναλύθηκαν οι αναλογίες των διαστάσεων της Πυραμίδας της Γκίζας και βρέθηκε πως ενσωματώνει κύριες αναλογίες μιας AC ημιτονικής κυματομορφής τάσης, καθώς επίσης και τρεις αναλογίες του αριθμού Fibonacci (Πίνακας 3.1).

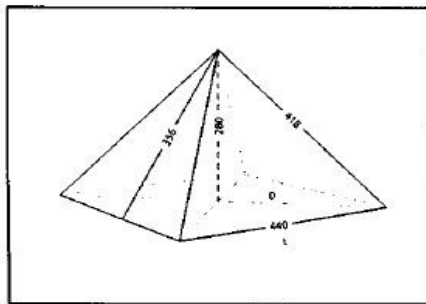
Σημειώνουμε πως οι σταθερές μονάδες κυψέλης είναι συνάρτηση του  $\pi$  και του  $\Phi$ , κύριες παράμετροι της ημιτονικής κυματομορφής που μπορεί να αντηχούν με το μήκος της βάσης και το ύψος της πυραμίδας της Γκίζας, υπονοώντας πως η πυραμίδα μπορεί να κλιμακωθεί γεωμετρικά ως κεραία/ηλεκτρικός μορφοτροπέας. Ο αριθμός Fibonacci εμφανίζεται σχετικός με τις διαστάσεις των πλευρών (παράμετρος σχήματος). Η μαθηματική σχέση μεταξύ του  $\pi$  και του  $\Phi$  μπορεί να δείχνει μια σύζευξη μεταξύ γεωμετρικού σχήματος και ηλεκτρικών ιδιοτήτων. Καθώς ο πυραμιδικός ηλεκτρικός μορφοτροπέας, προτυποποιήμενος ως η πυραμίδα της Γκίζας, μπορεί να λειτουργεί ως χρονικού τομέα ευρυζωνική κεραία, είναι πιθανό οι αναλογίες που παρουσιάζονται στην Πυραμίδα της Γκίζας να είναι ικανοποιητικές για το σχεδιασμό αυτού του τύπου κεραιών. Συνεπώς η Πυραμίδα της Γκίζας μπορεί να παρουσιάσει ένα «γενικευμένο» σχέδιο κεραιάς.

Για να διερευνηθεί αυτή η πιθανότητα, μια λογαριθμική σάρωση πραγματοποιήθηκε σε μια πυραμίδα βάσης μήκους 30,48 cm, από τα 500 Hz στα 5 MHz σε σάρωση ταχύτητας 10 msec χρησιμοποιώντας μια γεννήτρια σήματος Wavetek 185 (σχήμα 3.2). Η πυραμίδα τοποθετήθηκε μέσα σε ένα μεταλλικό κυλινδρικού σχήματος εκπομπό (52cm διάμετρος, 26 cm ύψους με πάχος τοίχου 0,3 mm) δικαιολογώντας έτσι το γεγονός πως οι ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις (ESD) λαμβάνονται ως παντός διαστάσεως.

### 3.3 Μελέτη.

Αυτή η έρευνα αναπαριστά μια καινοτόμο προσέγγιση αξιοποίησης της ηλεκτροστατικής ενέργειας. Μια ενδιαφέρουσα προοπτική είναι η επίδραση του σχήματος, για παράδειγμα η παρατήρηση πως μια κεραία σχήματος πυραμίδας μπορεί να είναι βέλτιστη για τη συλλογή ατμοσφαιρικών ESD εκκενώσεων. Αυτή η παρατήρηση υποστηρίζεται από τα αναπάντεχα αποτελέσματα της ανάλυσης των αναλογιών των διαστάσεων της Πυραμίδας της Γκίζας, η οποία υπονοεί την πιθανότητα πως οι χτίστες προσπαθούσαν να φτιάξουν ένα κτήριο που θα μπορούσε να δράσει ως ευρυζωνική κεραία. Η πιθανότητα αυτή επιβεβαιώθηκε επανειλημμένα με τη μέτρηση της ανάκλασης του φάσματος μιας πυραμιδικής κεραίας με πρότυπο την Πυραμίδα της Γκίζας. Τα αποτελέσματα επίσης παρέχουν μια εξήγηση για τα ανεξήγητα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα που παρατηρούνται στα μικρής κλίμακας αντίγραφα της Πυραμίδας της Γκίζας. Καθώς το κάθετο ατμοσφαιρικό δυναμικό ακολουθεί έναν ημερήσιο και εποχιακό κύκλο, αυτό εξηγεί τα ποικίλα αποτελέσματα που προκύπτουν. Περαιτέρω αναλύσεις του φαινομένου πιθανότερο να φέρουν πρόοδο στην κατανόηση της φυσικής βάσης του ηλεκτρομαγνητισμού.

<u>Dimension</u>	<u>meter</u>	<u>royal cubit</u>
L (base)	230.35	440
height	146.71	280
slope	186.52	356
edge	219.21	418
D (base diagonal)	325.76	622.25



**GPG dimensions**

#### GPG dimensional ratios

$$280/440=0.6363=2/\pi$$

$$440/622.25=0.707$$

$$280 \times 622.25 / 440 \times 440 = 0.9$$

$$280/D/2=0.9$$

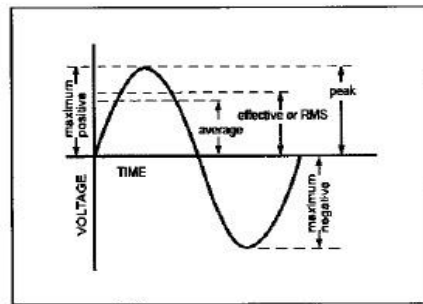
#### Fibonacci number ratios in GPG

$$356/L/2=1.618$$

$$356/418=0.80905$$

$$356/280=1.271$$

$$\pi/4=1/\sqrt{\phi}$$



**Sine wave**

#### Key sine wave ratios

$$AVE/PEAK=0.6363=2/\pi$$

$$RMS/PEAK=0.707$$

$$AVE/RMS=0.9$$

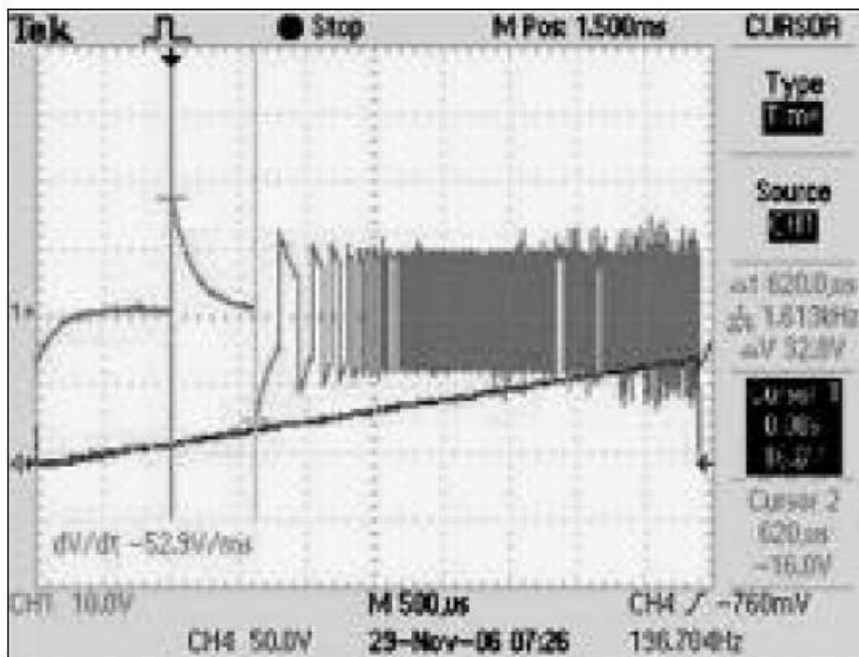
$$AVE/RMS=0.9$$

$$\phi$$

$$\phi/2$$

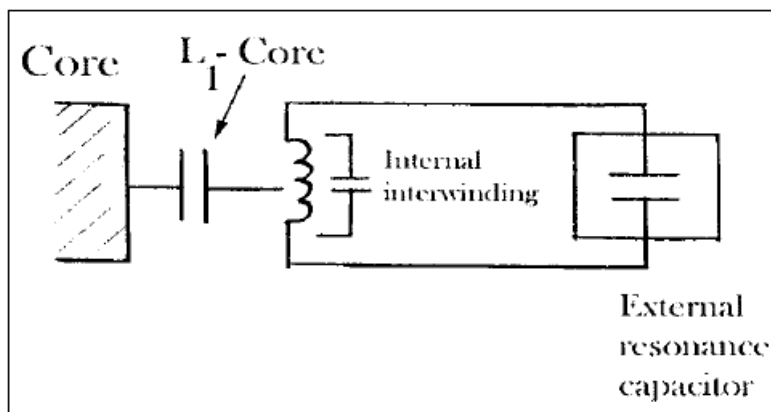
$$\sqrt{\phi}$$

Πίνακας 3.1 Η σύνοψη των κυρίων διαστάσεων της Πυραμίδας της Γκίζας (Great Pyramid Of Giza GPG) και η ανάλυση των αναλογιών της.



Σχήμα 3.2 Η φασματική απεικόνιση της πυραμιδικής κεραίας με βάση 30,48 cm.

Οι ηλεκτρομαγνητικές εκκενώσεις ESD μετατρέπονται σε περιοδικές, λογαριθμικά πτωτικές ημιτονοειδείς κυματομορφές, οι οποίες κινητοποιούνται από ένα καινοτόμο προεξέχοντος σχήματος αντηχητικό κύκλωμα (Σχήμα 3.3), που περιλαμβάνει ένα μονωμένο πηνίο περιελιγμένο σε αγωγίμο κυλινδρικό υπόστρωμα, το οποίο είναι ηλεκτρικά συζευγμένο στο σώμα της πυραμίδας και παράλληλο προς έναν πυκνωτή αντήχησης.



Σχήμα 3.3 Το πρότυπο αντηχητικό κύκλωμα.

Η εκτίμηση της ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρικών καταιγίδων, το ότι δηλαδή διατηρούν μια σταθερή κατάσταση κατά τη διάρκεια ζωής τους -παρά τις απώλειες ενέργειας των κεραυνών, το φαινόμενο εκκενώσεων corona, την ατμοσφαιρική κατακρήμνιση και αναταράξεις αιθρίας- δεν είναι εφικτή. Είναι γεγονός πως στην ατμοσφαιρική κατακρήμνιση το ρεύμα μεταφέρει μόνο ένα μέρος των φορτίων μέσα

στο (κεραυνοφόρο) σύννεφο. Το ακριβές μέγεθος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη δραστηριότητα της ηλεκτρικής καταιγίδας μπορεί να υπερβεί την παγκόσμια παραγωγή ενέργειας κατά τρεις φορές της συγκεκριμένης τάξης μεγέθους. Η γεωγραφική συγκέντρωση της δραστηριότητας της γήινης ηλεκτρικής καταιγίδας, θα διευκόλυνε τις προσπάθειες να εκμεταλλευτούμε αυτήν την τεράστια πηγή ατμοσφαιρικής ενέργειας.

Επίσης προτείνετε πως η παραγωγή ηλεκτρισμού θα ήταν πρακτικότερα εμπορικά εκμεταλλεύσιμη ακόμα και κατά την απουσία γεννητριών ηλεκτρικής καταιγίδας. Ο Holitzworth ανέφερε πως ένα μεγάλο τμήμα της διαφοράς δυναμικού εδάφους-ιονόσφαιρας των 450 kV μπορεί να γεφυρωθεί σε ένα χαμηλό ύψος των 1500 m. Σε αυτό το ύψος μέτρησε ένα βραχυκύκλωμα ρεύματος της τάξης των 30-50  $\mu\text{A}$ , χρησιμοποιώντας ένα συλλέκτη φορτίων σε σχήμα βρόχου από κοντό καλώδιο. Καθώς η ισχύς της συγκέντρωσης φορτίων της πυραμίδας είναι ανάλογη προς την επιφάνεια της, μια ικανοποιητικά μεγάλη πυραμίδα μπορεί πιθανότατα να παράγει MW ενέργειας ακόμα και υπό συνθήκες καλοκαιρίας. Αυτή η δραστηριότητα θα διευκολυνόταν από ένα παρατηρητήριο που θα έδινε αναφορά από τη Ρωσία.

Μετρήσεις του διαστήματος από Radar που έγιναν από μια πυραμίδα κατασκευασμένη από fiberglass ύψους 44 m κοντά στη Μόσχα, αποκάλυψε μία μεγάλου μεγέθους ιονισμένη στήλη αέρα πάνω από την περιοχή του κάθετου άξονα της πυραμίδας. Η στήλη είχε πλάτος περίπου 500 m και έφτανε ύψος σε ύψος τα 2 km. Είναι αξιοσημείωτο πως αυτό το φαινόμενο ελκυσήθηκε από μια πυραμίδα με μη αγωγή επιφάνεια, παρουσιάζοντας ένα σημαντικό βαθμό ατμοσφαιρικού ιονισμού ακόμα και κάτω από καλές καιρικές συνθήκες. Συνεπώς μια κατάλληλου μεγέθους πυραμίδα μπορεί να ανοίξει ένα δρόμο χαμηλής εμπέδησης σε υψηλότερες κλίμακες σχετικά αγωγίμων ατμοσφαιρικών τομέων.

Αυτό το φαινόμενο θα μπορούσε να ενισχυθεί με το να θέσουμε σε ζεύγος το πρώτο κύκλωμα αντήχησης με το στοιχείο συσσώρευσης φορτίου του σώματος της πυραμίδας. Οπότε, η έξοδος της RF θα μπορούσε να φτάσει σε ένα ζήτημα μιλίων κοντά στην τροπόσφαιρα με μια πλήρους κλίμακας γεννήτρια ισχύος πυραμίδας (σχήμα 3.4), με το να ενισχύσουμε την έλξη των φορτίων στον πυραμιδικό ηλεκτρικό μορφοτροπέα με έναν ιονισμό παρόμοιο της ατμόσφαιρας.

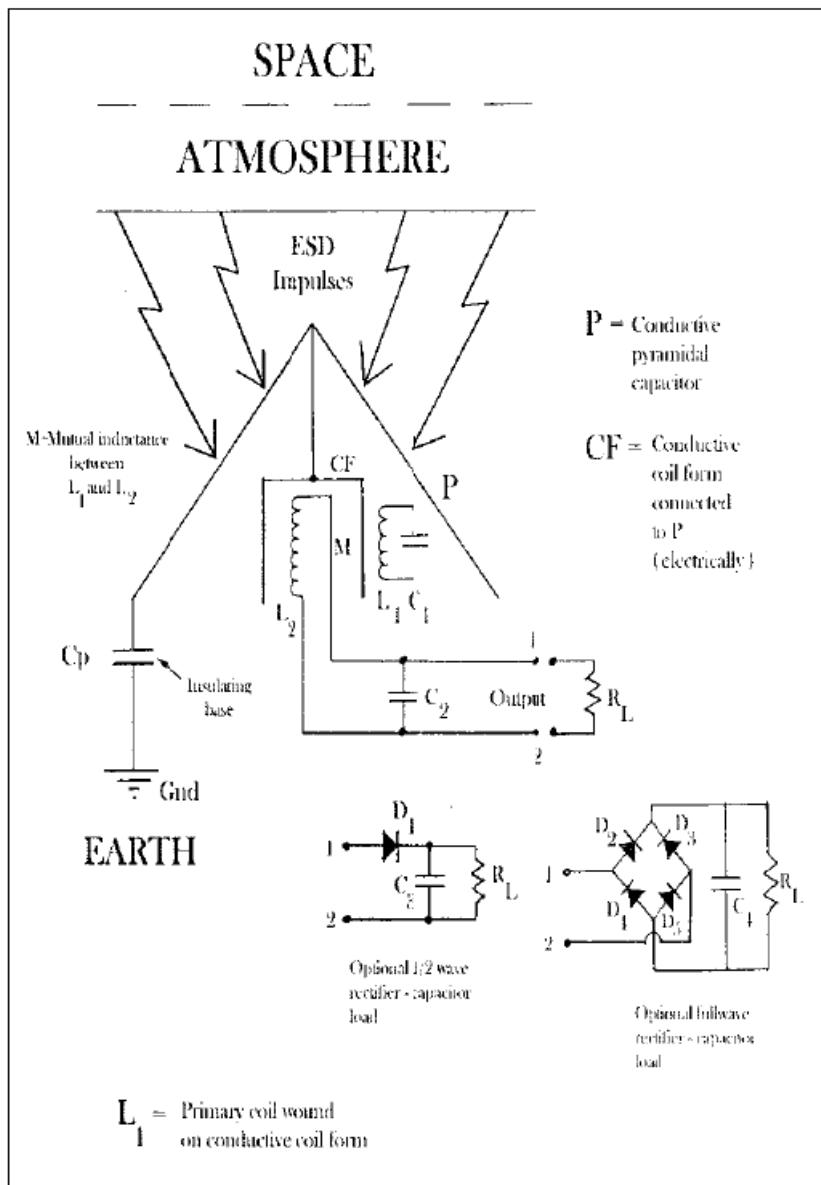
Η Ρωσική μελέτη επίσης έδειξε μια μείωση στη συχνότητα της καταιγίδας κοντά στην πυραμίδα. Αυτό είναι εύκολο να ερμηνευθεί στο εύρος των συγκεκριμένων παρατηρήσεων. Καθώς ο ηλεκτρισμός των σύννεφων οδηγεί ισχυρές καιρικές συνθήκες συμπεριλαμβανομένων και των φαινομένων των κεραυνών, τα μειωμένα φορτία των κεραυνών από τα σύννεφα θα ελαττώσουν και τη δραστηριότητα της αστραπής καθώς και την ατμοσφαιρική αναταραχή. Με την αυξανόμενη συχνότητα των τυφώνων και άλλων ισχυρών καιρικών φαινομένων, η εγκατάσταση κατάλληλου μεγέθους πυραμιδικών ηλεκτρικών μορφοτροπέων, σε επιρρεπής από τυφώνα περιοχές υψηλού πληθυσμού, θα μπορούσε να είναι κάτι περισσότερο από ένα μέσο παραγωγής ενέργειας. Θα είχαν περαιτέρω προτερήματα σώζοντας ζωές αλλά και ιδιοκτησία.

Εν κατακλείδι, πιθανότατα χιλιάδες terawatts ενέργειας παράγονται στην τροπόσφαιρα από τις ηλεκτρικές καταιγίδες. Μια πυραμιδική δομή, με τη βέλτιστη γεωμετρία και κατασκευή, θα μπορούσε να δράσει ως κατάλληλος τόπος απόληξης υποβαθμισμένης ενέργειας (εντροπική εσχατιά) φορτίων, συλλέγοντας αυτήν την ηλεκτρική ενέργεια και αποτρέποντας τη σκέδασή της.

Μια γεννήτρια ηλεκτρισμού σχήματος πυραμίδας με μια βάση κατά προσέγγιση  $34.000 \text{ m}^2$  ύψος 100 m και μια αγωγή επιφάνεια θα μπορούσε να παρέχει μια πιο αποτελεσματική απόληξη ενέργειας φορτίων από την περιβάλλουσα επιφάνεια

εδάφους. Η συλλογή φορτίων θα μπορούσε να βοηθηθεί από εσωτερικά αντηχητικά κυκλώματα ώστε να αυξηθεί η λειτουργική αποδοτικότητα κάτω από συνθήκες καλοκαιρίας. Ομάδες από αρκετούς πυραμδικούς ηλεκτρικούς μορφοτροπείς θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, συνδυάζοντας έτσι την ισχύ συλλογής φορτίων.

Το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης που προκαλείται από εκκλήσεις ανθρωπογενών αερίων θερμοκηπίου οδηγεί σε μεγάλες περιβαλλοντικές αλλαγές που απειλούν να διαταράξουν το οικοσύστημά μας με πιθανές καταστροφικές επιπτώσεις. Ο ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός είναι μια ανανεώσιμη αγνή πηγή ενέργειας που θα έδινε στην ανθρωπότητα μια ευκαιρία να ξεκινήσει να αναστρέφει ένα επικίνδυνο και αυτοκαταστροφικό ρεύμα, καθώς επίσης και να προστατέψει από φυσική ζημία σημαντικές περιοχές, απειλούμενες από καιρικές συνθήκες.



Σχήμα 3.4 Το κύκλωμα του πυραμδικού ηλεκτρικού μορφοτροπέα.

## 4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ (ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ).

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αποθήκευσή και η μεταφορά της. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (όπως και οι περισσότερες πηγές) δε δίνουν τάση στην επιθυμητή μορφή και τις περισσότερες φορές είναι ασταθής. Εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια μετατραπεί μέσα από διάφορες διαδικασίες και κυκλώματα που διαμορφώνουν την τάση στην επιθυμητή μορφή, στη συνέχεια αποθηκεύεται με διαφόρους τρόπους και με κάποιες αποδεκτές απώλειες σε συγκεκριμένα στοιχεία. Για τον συγκεκριμένο λόγο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται συσσωρευτές ενέργειας ή όπως αποκαλούνται στην καθημερινότητά μας, μπαταρίες. Στα περισσότερα κυκλώματα τροφοδοσίας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως θα δούμε στη συνέχεια, οι μπαταρίες συνδέονται με διατάξεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν την επιθυμητή τάση (όπως ηλεκτροκινητήρες) για το εκάστοτε φορτίο που ζητείται τελικά να ηλεκτροδοτηθεί.

### 4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά.

#### 4.1.1 Τι είναι μια μπαταρία.

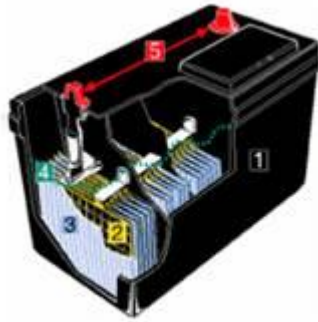
Η μπαταρία είναι ένας συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας[8]. Η μικρότερη μονάδα της είναι ένα στοιχείο. Κατά κανόνα μια μπαταρία αποτελείται από μια σειρά στοιχείων τα οποία είναι μεταξύ τους συνδεδεμένα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Η χημική ενέργεια η οποία συσσωρεύεται μέσα τους μετατρέπεται αυτομάτως σε ηλεκτρική ενέργεια, αν συνδεθεί ένας ηλεκτρικός καταναλωτής.

Το Ελληνικό όνομα είναι Συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας (το όνομα μπαταρία είναι από το Ιταλικό Batteria που σημαίνει συστοιχία). Η μπαταρία είναι ένα ηλεκτρικό εξάρτημα ικανό να αποθηκεύει ηλεκτρισμό υπό μορφή χημικής ενέργειας. Η απόδοσή της εξαρτάται από τον τύπο κατασκευής της. Απόδοση είναι το ποσόν επί τοις εκατό της χημικής ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Το ιδανικό είναι όταν το 100% της χημικής ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική, αλλά αυτό δεν συμβαίνει.

Ας δούμε όμως πως είναι κατασκευασμένη μια μπαταρία μολύβδου.

Αυτή αποτελείται από μια σειρά στοιχείων όπου το κάθε ένα από αυτά έχει ηλεκτρεγερτική δύναμη (Τάση), όταν είναι τελείως φορτισμένο, 2,2 Volt. Έτσι λοιπόν για μια μπαταρία ονομαστικής τάσης 12 Volt, θα χρειαστούμε 6 τέτοια στοιχεία  $6 \times 2,2 = 13,2$  Volt.

Το κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία αποτελείται από μια πλάκα ενεργού μολύβδου Pb για τον θετικό πόλο, και μια πλάκα διοξειδίου του μολύβδου PbO<sub>2</sub> για τον αρνητικό πόλο. Τα στοιχεία αυτά είναι βυθισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη από διάλυμα θεικού οξέος H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και αποσταγμένου νερού H<sub>2</sub>O.



Στην διπλανή εικόνα βλέπουμε σε τομή μια μπαταρία και έχουμε:

- 1) Το κέλυφος.
- 2) Τις πλάκες εσωτερικά θετικές και αρνητικές από μόλυβδο και οξείδιο του Μολύβδου.
- 3) Διαχωριστικές πλάκες από συνθετικό υλικό.
- 4) Τον ηλεκτρολύτη, διάλυμα θεικού οξέος σε νερό.
- 5) Τους πόλους από μόλυβδο, Οι πόλοι είναι τα σημεία σύνδεσης της μπαταρίας με τα φορτία.

Κατά την κανονική λειτουργία από χημική αντίδραση του θεικού οξέος με τα μολύβδινα στοιχεία παράγεται μικρή ποσότητα υδρογόνου και οξυγόνου. Αυτά τα δύο αέρια που παράγονται στον ένα πόλο της μπαταρίας απορροφώνται από τις χημικές αντιδράσεις του αντιθέτου πόλου. Εάν όμως κακομεταχειριζόμαστε την μπαταρία η ισορροπία αυτή χαλάει δημιουργούνται μεγάλες ποσότητες αερίων η μπαταρία υποφέρει και λέμε τότε ότι η μπαταρία βράζει.

#### 4.1.2 Μπαταρίες μολύβδου κλασικές.

Είναι εκείνες με τις τάπες που ξεβιδώνουν για να προσθέσουμε αποσταγμένο νερό. Οι τάπες έχουν μια μικρή τρύπα για τα αέρια που δημιουργούνται.



#### 4.1.3 Μπαταρίες χωρίς συντήρηση ή με μικρή συντήρηση.

Είναι οι περισσότερο διαδεδομένες σήμερα. Δεν υπάρχουν οι τάπες με την τρύπα αν και με λίγη προσπάθεια μπορείς να ανοίξεις το στοιχείο, να προσθέσεις νερό και να μετρήσεις την πυκνότητα του ηλεκτρολύτη. Χάρης στο σύστημα κλεισίματος των στοιχείων, αν αναποδογυρίσουν για μικρό χρονικό διάστημα δεν χάνουν τα υγρά.



#### 4.1.4 Μπαταρίες αυτοκινήτου.

Είναι κατασκευασμένες για να έχουν κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης κατά μέσο όρο 5% της ολικής φόρτισης. Υποφέρουν εάν αδειάζουν πολύ και για μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά έχουν την δυνατότητα να παρέχουν υψηλά στιγμιαία ρεύματα για την εκκίνηση των κινητήρων και είναι αρκετά ελαφριές. Συνήθως αντέχουν μερικές δεκάδες (τυπικά 50) κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης σε 80%.

#### 4.1.5 Κυκλικές μπαταρίες.

Είναι κατασκευασμένες για να παρέχουν ενέργεια για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ο μέσος όρος εκφόρτισης είναι 80% και αντέχουν από μερικές εκατοντάδες έως και 1000 κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης (αναπηρικά καροτσάκια, τροχόσπιτα, συνεχής παροχή ρεύματος κλπ).

## 4.2 Αριθμοί που υπάρχουν στις Μπαταρίες.

Ας προσπαθήσουμε τώρα να καταλάβουμε τι σημαίνουν οι αριθμοί που αναγράφονται στις μπαταρίες.

- **Ονομαστική τάση:** είναι τα Volt που μπορούμε να μετρήσουμε στους πόλους με ένα βολτόμετρο και την μπαταρία χωρίς φορτία που καταναλώνουν ρεύμα.
- **Ονομαστική χωρητικότητα:** Είναι η ποσότητα της ενέργειας που η μπαταρία μπορεί να αποθηκεύσει, μετριέται σε Ampere /Ωρα (Ah) σε εκφόρτιση 1 ώρας 5 ωρών, 10 ωρών ή 20 ωρών, ανάλογα με τα στοιχεία που δίνει ο κατασκευαστής.
- **Ρεύμα αιχμής:** Είναι το μέγιστο ρεύμα που η μπαταρία μπορεί να δώσει όταν είναι κρύα για περίπου 30 δευτερόλεπτα (συνήθως αναφερόμαστε σε 0 C0 ή 18 C0 στις χειρότερες συνθήκες). Όσο η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη τόσο η μπαταρία είναι σε θέση να βάλει μπρος τον κινητήρα κάτω από δύσκολες συνθήκες.

## 4.3 Γιατί μια μπαταρία καταστρέφεται ή γερνάει.

### 4.3.1 Αιτίες που καθιστούν μια μπαταρία άχρηστη.

Εάν αφήσουμε μια μπαταρία για μεγάλο χρονικό διάστημα άδεια ή λίγο φορτισμένη τότε μια χημική αντίδραση στις πλάκες σχηματίζει οξείδια του μολύβδου κρυσταλλικά αδιάλυτα (είναι αυτή η άσπρη σκόνη που συχνά βλέπουμε στους πόλους των μπαταριών εάν δεν προσέχουμε να διατηρούνται καθαροί). Αυτή η ουσία γεμίζει σταδιακά την επιφάνια των μολύβδινων πλακών και εμποδίζει της χημικές αντιδράσεις που αποθηκεύουν ή προσφέρουν ενέργεια.

Λόγω της διαλυτότητας του μολύβδου στο νερό και άλλους παράγοντες (διάφορες ακαθαρσίες στο διάλυμα κλπ) η μπαταρία χάνει σταδιακά την αποθηκευμένη ενέργεια ώσπου αδειάζει τελείως. Η διαρροή μπορεί να είναι έως 10% τον μήνα. Το αυτόματο άδειασμα εξαρτάται από την θερμοκρασία (για παράδειγμα μια μπαταρία στους 38 βαθμούς σε ένα μήνα χάνει περίπου ένα 7%, στους 27 βαθμούς ένα 5%, ενώ στους 10 βαθμούς μόνο το 1%). Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να φορτίζουμε την μπαταρία μια φορά τον μήνα όταν δεν την χρησιμοποιούμε ώστε να είναι φορτισμένη πάνω από το 80%.

Οι πλάκες του μολύβδου είναι κατασκευασμένες έχοντας σειρές από τετράγωνα εσοχές (κυψέλες) μέσα στις οποίες πρεσάρονται τα οξείδια του μολύβδου. Με αυτό τον τρόπο οι μπαταρίες γίνονται πιο ελαφριές αλλά και η επιφάνεια των πλακών με τον ηλεκτρολύτη μεγαλώνει και κατά συνέπεια και η χωρητικότητα. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι όταν οι μπαταρίες κακομεταχειρίζονται τότε τα οξείδια ξεκολλούν και κάθονται στον πάτο προκαλώντας βραχυκύκλωμα μεταξύ των στοιχείων.

### 4.3.2 Έλεγχος και διάγνωση κατάστασης μπαταρίας.

Ας αναλύσουμε τώρα τους διάφορους τρόπους διάγνωσης της κατάστασης μιας μπαταρίας.

Το βραχυκύκλωμα ενός ή περισσότερων στοιχείων είναι εύκολο να το διαπιστώσουμε. Μετράμε με ένα βολτόμετρο την τάση στους πόλους χωρίς φορτίο και εάν πχ έχουμε ένα στοιχείο βραχυκυκλωμένο αντί για 12 V θα μετρήσουμε 10 V, εάν έχουμε δυο τότε θα μετρήσουμε 8 V κλπ. Η μπαταρία αυτή φυσικά είναι για πέταμα.



Τώρα στην περίπτωση διακοπής της συνέχειας των στοιχείων πάλι η διαπίστωση είναι εύκολη, αφού στους πόλους θα έχουμε Τάση (0 Volt). Και στην περίπτωση αυτή η μπαταρία είναι για πέταμα.

Υπάρχουν όμως και ενδιάμεσες περιπτώσεις όπου η μπαταρία μπορεί στην μέτρηση να μας δίνει 12 V αλλά κάτω από φορτίο να πέφτει στα 10V (οι αιτίες που μπορεί να συμβεί αυτό είναι πολλές και δεν αξίζει να τις εξετάσουμε). Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να προσπαθήσουμε να σώσουμε για λίγο καιρό την μπαταρία φορτίζοντας την με πολύ λίγα Ampere για πολλές ώρες. Η συγκεκριμένη διαδικασία δεν εξασφαλίζει περαιτέρω ζωή στην μπαταρία, συνεπώς μάλλον δεν αξίζει.

#### 4.4 Φόρτιση.

##### 4.4.1 Διαδικασία της φόρτισης.

Ας δούμε τώρα τι γίνεται όταν βάζουμε να φορτιστεί μια μπαταρία:

Ενώνοντας τα καλώδια του φορτιστή στους πόλους της μπαταρίας αρχίζει η χημική αντίδραση. Θεωρείται κανονική φόρτιση μιας μπαταρίας όταν αυτή γίνεται προσφέροντας ρεύμα ίσο με το 1/10 της χωρητικότητας της για 12 ώρες, προσέχοντας η Τάση που εφαρμόζουμε να είναι ανάλογη με τον τύπο της στην θερμοκρασία των 20 βαθμών.

Για την Κλασική μπαταρία είναι 13,4 έως 13,8 Volt

Για την Μπαταρία Ασβεστίου είναι 13,8 έως 14,1 Volt

Παράδειγμα:

Στην κλασικού τύπου μπαταρία μας με χωρητικότητα 175 A/h, με ασφάλεια μπορούμε να την φορτίσουμε με 18 A για 12 ώρες  $18 \times 12 = 216$  A/h η διαφορά των 41 A/h οφείλεται στο ότι η απόδοση της μπαταρίας δεν είναι 100% άρα ένα ποσό ενέργειας γίνεται θερμότητα.

Η τιμή του ρεύματος που επιλέχθηκε (18 A) είναι ότι καλύτερο ώστε η μπαταρία να φορτιστεί γρήγορα αλλά και με ασφάλεια.

Εάν όμως έχουμε στην διάθεση μας χρόνο μπορούμε να λιγοστέψουμε το ρεύμα φόρτισης και να αυξήσουμε τον χρόνο πχ 8-10 A για 24-30 ώρες, χωρίς όμως να περάσουμε τις 48 ώρες.

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι τόσο η Τάση φόρτισης όσο και το σωστό ρεύμα είναι βασικά για την ζωή της μπαταρίας μας.

##### 4.4.2 Πως θα διαπιστώσουμε πόσο γεμάτη είναι η μπαταρία μας.

Υπάρχουν δυο έμμεσοι τρόποι για να γνωρίσουμε την κατάσταση φόρτισης μιας μπαταρίας. Ο πρώτος, μετρώντας την πυκνότητα του ηλεκτρολύτη με ένα όργανο, το πυκνόμετρο, το οποίο είναι αρκετά φθηνό και ο δεύτερος, μετρώντας την τάση στους πόλους.

Για την μέτρηση της πυκνότητας στους 270 C, ακολουθούμε τον παρακάτω πίνακα:

Πυκνότητα 1,265 φόρτιση 100%.

Πυκνότητα 1,225 φόρτιση 75%.

Πυκνότητα 1,190 φόρτιση 50%.

Πυκνότητα 1,155 φόρτιση 25%.

Πυκνότητα 1,120 φόρτιση τελείως άδεια.

Καλό είναι να μετράμε την πυκνότητα όλων των στοιχείων ώστε να είμαστε σίγουροι ότι όλα είναι το ίδιο φορτισμένα.

Εάν η πρόσβαση στην μπαταρία δεν είναι εύκολη ώστε να μετρήσουμε την πυκνότητα του ηλεκτρολύτη στα στοιχεία τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την

κατάσταση μετρώντας την τάση χωρίς φορτία με ένα ηλεκτρονικό βολτόμετρο ακριβείας.

Φόρτιση 100% 12,6 V.

Φόρτιση 75% 12,4 V.

Φόρτιση 50% 12,2 V.

Φόρτιση 25% 12,0 V.

Φόρτιση 0 11,8 V.

Εάν λοιπόν η τάση πέσει κάτω από 11,8 V σημαίνει ότι η μπαταρία είναι άδεια.

#### 4.5 Καλή χρήση της μπαταρίας.

Να δούμε τώρα πως πρέπει να μεταχειριζόμαστε με τον καλύτερο τρόπο την μπαταρία μας.

- Να μη την αφήνουμε να αδειάσει τελείως (Τάση κάτω από 10,6 Volt) γιατί τότε δημιουργούνται καταστρεπτικές χημικές αντιδράσεις μη αναστρέψιμες.
- Να μην την υπερφορτίζουμε ή να την φορτίζουμε πολύ γρήγορα.
- Να μη της ζητάμε ποτέ πάρα πολύ ρεύμα εκτός από αυτό της εκκίνησης (ο τρόπος δοκιμής της μπαταρίας βραχυκυκλώνοντας με ένα καλώδιο τους πόλους είναι καταστροφή).
- Να μη μένει παραπάνω από ένα μήνα χωρίς να φορτιστεί.
- Να μη μένει χωρίς ηλεκτρολύτη. Θα πρέπει να ελέγχουμε συχνά την στάθμη του ηλεκτρολύτη ώστε να είναι οι πλάκες πάντα σκεπασμένες.
- Να βρίσκεται σε στεγνό και καθαρό μέρος. Παρότι το κέλυφος των μπαταριών είναι κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό, έχει παρατηρηθεί ότι όταν είναι σε νερό ή σε λάδια, γράσα κλπ υπάρχει διαρροή ρεύματος.

Η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας εξαρτάται από το πώς χρησιμοποιούμε το όχημά μας.

#### 4.6 Σύνδεση περισσότερων μπαταριών.

Οι μπαταρίες θεωρητικά μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και να αυξηθεί η τελική Τάση πχ δυο μπαταρίες 12 V σε σειρά θα δώσουν 24 V. Αυτή η σύνδεση μπορεί να γίνει χωρίς κανένα κίνδυνο όταν τα όργανα του οχήματος λειτουργούν με 24V.

Εάν συνδέσουμε δύο οι περισσότερες μπαταρίες παράλληλα τότε ενώ η Τάση παραμένει αμετάβλητη, θεωρητικά αυξάνεται η χωρητικότητα του συστήματος. Συνεπώς εάν συνδέσουμε δυο μπαταρίες 12 V και χωρητικότητας 120 A/h τότε θα έχουμε Τάση πάντα 12V αλλά η χωρητικότητα θα γίνει 240 A/h. Μια τέτοια σύνδεση δεν πρέπει να γίνεται ποτέ με διαφορετικής χωρητικότητας μπαταρίες, ή αν δεν είναι συγχρόνως φορτισμένες.

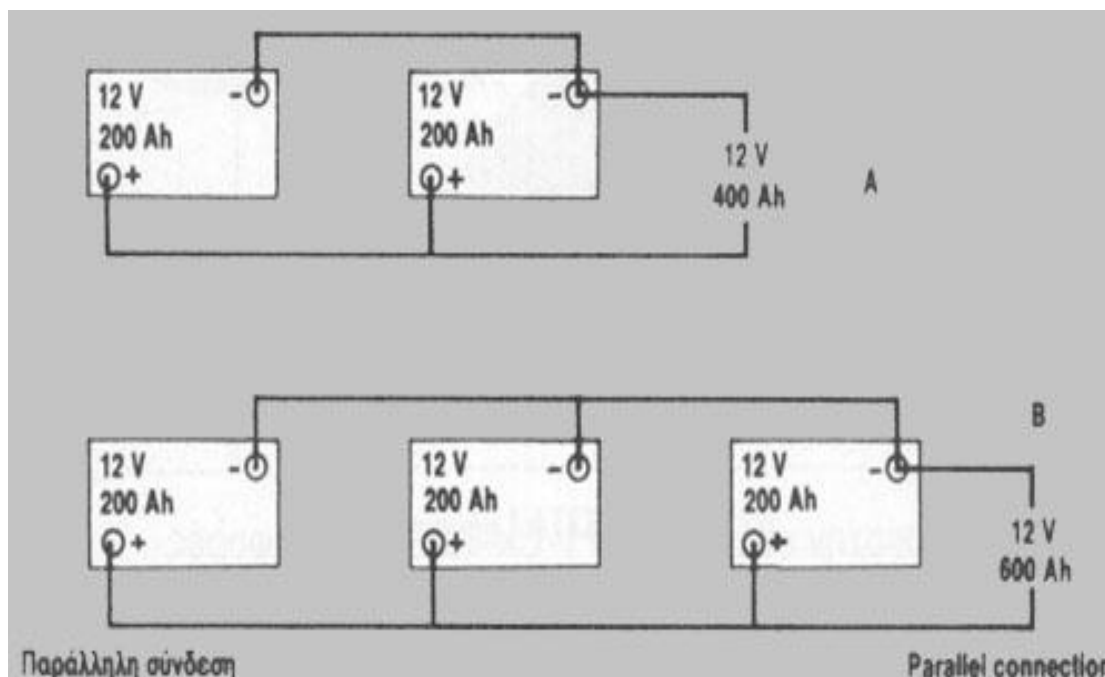
A) Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δυο μπαταρίες διαφορετικής χωρητικότητας. Μόλις γίνει η ένωση και μάλιστα οι μπαταρίες είναι κοντά η μια στην άλλη και με καλά καλώδια, τότε αυτόματα θα περάσει μια πολύ μεγάλη ποσότητα ρεύματος από την μια μπαταρία στην άλλη για να έλθει η ισορροπία και αυτό είναι καταστροφή για τις πλάκες της μπαταρίας.

B) Στην περίπτωση που και οι δύο μπαταρίες είναι ακριβώς ίδιες ακόμα και ίδια μάρκα, πάλι είναι πολύ επικίνδυνη η παράλληλη σύνδεση γιατί είναι αδύνατο οι δυο μπαταρίες να είναι ακριβώς το ίδιο φορτισμένες. Έτσι λοιπόν κατά την στιγμή της σύνδεσης πάλι θα έχουμε μια καταστροφική μεταφορά υψηλού ρεύματος από την μια στην άλλη.

#### 4.6.1 Σύνδεση παράλληλη ή εν σειρά;

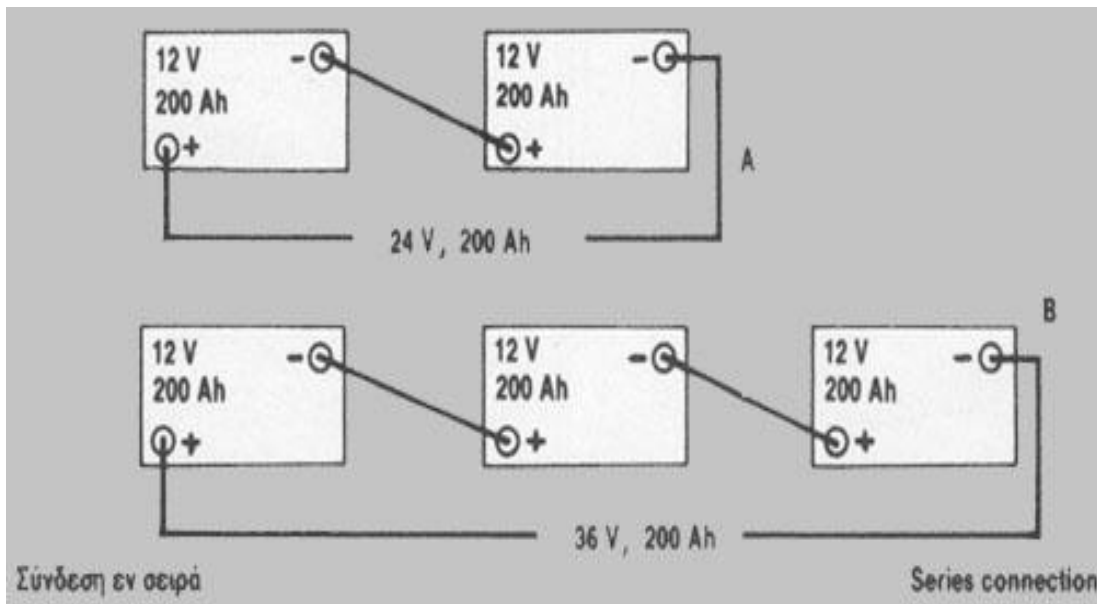
Πολλές φορές οι ανάγκες μας επιβάλλουν να χρησιμοποιούμε περισσότερες από μία μπαταρίες στο ηλεκτρικό κύκλωμα, για να καλύπτουμε τις απαιτήσεις μας σε ηλεκτρική ενέργεια [9]. Πώς όμως γίνονται οι συνδέσεις και τι επιτυγχάνουμε με αυτές;

Όταν χρειάζεται να συνδέσουμε δύο ή περισσότερες μπαταρίες μαζί, έχουμε δύο επιλογές. Η πρώτη είναι η παράλληλη σύνδεση, δηλαδή όλοι οι θετικοί πόλοι μαζί και οι αρνητικοί μαζί (σχήμα 4.1, A και B) και η δεύτερη είναι η σύνδεση εν σειρά, όπου συνδέουμε τον ένα αρνητικό πόλο της μιας με το θετικό της άλλης (σχήμα 4.2, A και B). Ας δούμε όμως τι επιτυγχάνουμε με κάθε μια από τις συνδέσεις αυτές.



Σχήμα 4.1

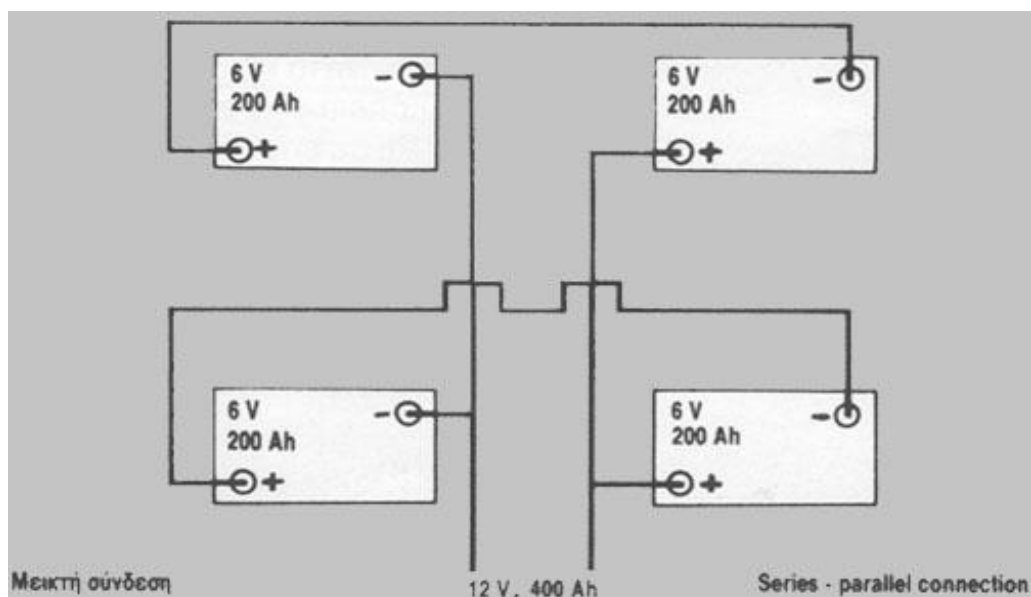
Με την παράλληλη σύνδεση, εκείνο που παρατηρούμε είναι ότι η τάση (βολτάζ) παραμένει η ίδια με αυτήν της κάθε μπαταρίας, ενώ αντίθετα η χωρητικότητα πολλαπλασιάζεται ανάλογα με τον αριθμό των συσσωρευτών. Για παράδειγμα, συνδέοντας παράλληλα δύο μπαταρίες 12 Volt χωρητικότητας 200 Ah (αμπερωρίων) η κάθε μια, επιτυγχάνουμε ένα σύστημα 12 Volt με ολική χωρητικότητα 400 Ah (σχήμα 4.1A). Αντίστοιχα, τρεις μπαταρίες των 12 Volt σε παράλληλη σύνδεση θα μας δώσουν 600 Ah (σχήμα 4.1B).



Σχήμα 4.2

Αν εξετάσουμε το παραπάνω παράδειγμα των δύο μπαταριών με σύνδεση εν σειρά, θα δούμε ότι η χωρητικότητα στο τελικό σύστημα παραμένει η ίδια με αυτή κάθε μεμονωμένης μπαταρίας. Η τάση όμως διπλασιάζεται, οπότε θα έχουμε ένα σύστημα 24 Volt με χωρητικότητα 200 Ah (σχήμα 4.2A). Αντίστοιχα, τρεις μπαταρίες των 12 Volt με σύνδεση εν σειρά θα μας δώσουν 36 Volt (σχήμα 4.2B).

Εκτός από τις παραπάνω συνδέσεις, υπάρχει και η τρίτη περίπτωση, δηλαδή ένας συνδυασμός των δύο, σε μια μεικτή σύνδεση, όπως αυτή του σχήματος 3. Αν δηλαδή συνδέσουμε δύο ξεχωριστά συστήματα δύο μπαταριών 6 Volt μεταξύ τους εν σειρά (οπότε έχουμε δύο συστήματα 12 Volt και 200 Ah) και στη συνέχεια κάνουμε παράλληλη σύνδεση των δύο συστημάτων, το τελικό αποτέλεσμα θα είναι ένα σύστημα 12 Volt με χωρητικότητα 400 Ah.



Σχήμα 4.3

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι σε ένα σύστημα μπαταριών με παράλληλη σύνδεση, ένα νεκρό στοιχείο μιας μπαταρίας μπορεί να προκαλέσει ζημιά και στις άλλες. Η σύνδεση πολλών συσσωρευτών μεταξύ τους εξαρτάται βέβαια από την κατανάλωση σε ηλεκτρική ενέργεια που προβλέπουμε να έχουμε, ανάλογα με τις ηλεκτρικές συσκευές και τη χρήση.

#### **4.7 Ανακεφαλαίωση.**

Αναξιόπιστοι χαρακτηρίστηκαν περισσότεροι από 16 τύποι μπαταριών, που ελέγχθηκαν από το Ίδρυμα Ελέγχου Προϊόντων στη Γερμανία (STIFTUNG WARENTEST) και τα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό TEST, τον Νοέμβριο του 2004[8]. Σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα, διαπιστώθηκε πως αναγράφονται στην ετικέτα λανθασμένες επιδόσεις, τόσο για τη χωρητικότητα όσο και για τα αμπέρ εκκίνησης. Τα μεγαλύτερα προβλήματα που παρουσιάζουν οι περισσότερες μπαταρίες, είναι:

- Η μεγάλη κατανάλωση υγρών,
- οι δυσκολίες στην εκφόρτιση και επαναφόρτιση,
- η αναγραφή λανθασμένων επιδόσεων στην ετικέτα και
- η γρήγορη οξείδωση των πλακών.

**Επομένως, για την ασφαλή και αποδοτική χρήση των μπαταριών σωστό είναι να ακολουθούνται οι παρακάτω κανόνες:**

- Θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο τύπος μπαταρίας που προτείνει ο κατασκευαστής της εφαρμογής.
- Εάν χρειάζονται δυο μπαταρίες, θα πρέπει να είναι σε όλα όμοιες.
- Θα πρέπει να αποθηκεύεται σε μέρος στεγνό και καθαρό, και να αερίζεται κανονικά έστω και εάν είναι κλειστού τύπου.
- Οι πόλοι πρέπει να είναι πάντα καθαροί και πολύ καλά σφιγμένοι οι ακροδέκτες.
- Να ελέγχουμε συχνά (ιδίως το καλοκαίρι) την στάθμη του ηλεκτρολύτη εάν δεν είναι κλειστού τύπου.
- Να μην μεταχειριζόμαστε ηλεκτρικά όργανα, για μεγάλα χρονικά διαστήματα με σβηστό τον κινητήρα.
- Να μην εμπιστευόμαστε ποτέ τις μπαταρίες που έστω και μια φορά έχουν αδειάσει κάτω από το 50%, έστω και εάν δείχνουν ότι ξαναγέμισαν. Όπως πολλές φορές αναφέρθηκε παραπάνω, εάν η Τάση της μπαταρίας μας πέσει κάτω από 10,8 ο κίνδυνος για την ζωή της μπαταρίας είναι άμεσος. Γι αυτό δεν πρέπει να αφήνουμε την μπαταρία άδεια περισσότερο από 24 ώρες.

### Γ. ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ Α.Π.Ε. ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.

Η αξία της χρήσης διάφορων Α.Π.Ε. είναι μία λύση η οποία έχει ως σκοπό τη σταθερότερη ισχύ σε μία εγκατάσταση η οποία τροφοδοτείται εξ ολοκλήρου από αυτές και όχι από το σταθερό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως προαναφέρθηκε, οι Α.Π.Ε. εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και τις κλιματολογικές αλλαγές του κάθε τόπου, με αποτέλεσμα κάθε μια από αυτές να ενδείκνυται για διαφορετική εποχή του χρόνου, μιας και η απόδοσή τους ποικίλλει σε σχέση με τις μετεωρολογικές αλλαγές. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα του σχήματος 1.1, έχουμε αντίθετες ενεργειακές καμπύλες μεταξύ των φωτοβολταϊκών και των αιολικών συστημάτων στις διαφορετικές εποχές του χρόνου, με αποτέλεσμα το ενεργειακό δυναμικό να προκύπτει πλήρες από τη συνεργασία των δύο συστημάτων, όπου το ένα εκ των δύο υστερεί.



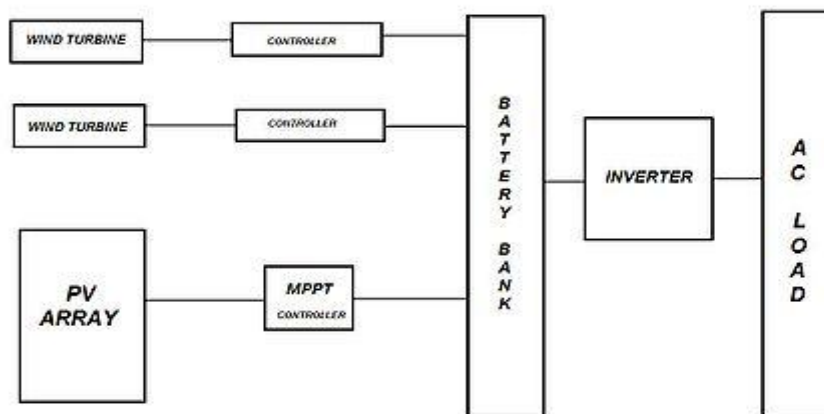
Σχήμα 1.1: Ετήσια απόδοση ηλιακού και αιολικού δυναμικού.

## 1. ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η υβριδική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής επειδή αποτελείται από δύο ή περισσότερες ενεργειακές πηγές. Ο συνδυασμός δύο ενεργειακών πηγών είναι μία αξιόπιστη μέθοδος παραγωγής ενέργειας [10]. Τα υβριδικά ενεργειακά συστήματα χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένες περιοχές προκειμένου οι εκεί εγκαταστάσεις να τροφοδοτηθούν με ηλεκτρική ενέργεια. Η χρήση των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας ήρθε στο προσκήνιο λόγω των υψηλών τιμών του πετρελαίου, καθώς μπορούν να βελτιστοποιήσουν την παροχή ενέργειας ειδικότερα στην ύπαιθρο. Ωστόσο θεωρείται ακόμα μία ακριβή και δύσκολη λύση ο συνδυασμός δύο ή τριών ενεργειακών πηγών, αλλά είναι ένα έξοδο που γίνεται μία φορά και το οποίο έχει πολλές χρήσεις σε κατοίκους απομακρυσμένων περιοχών.

### 1.1 Παραδείγματα υβριδικής ενέργειας.

Υπάρχουν πολλές πηγές συνδυασμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ενέργειας αλλά δύο από αυτές είναι η κυψέλη καυσίμου βιομάζας σε συνδυασμό με αιολικά συστήματα καθώς επίσης και ο συνδυασμός αιολικής και φωτοβολταϊκής ενέργειας. Το πρώτο υβριδικό σύστημα είναι ένας συνδυασμός 60% βιομάζας και 20% αιολικής ενέργειας [10] μαζί με την έκκληση ενέργειας από κυψέλες καυσίμων. Οι υβριδικές πηγές ενέργειας μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες στα αρδευτικά τους συστήματα. Συνδυάζονται έτσι δύο ή τρεις ενεργειακές πηγές ώστε να συντεθεί μία πηγή ενέργειας ικανή να παράγει ενέργεια για να τροφοδοτήσει μία οικία ή ακόμα και μια μικρή βιομηχανική μονάδα. Η φωτοβολταϊκή – αιολική ενέργεια είναι ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών κυψέλων και ανεμογεννητριών ώστε να παραχθεί ενέργεια. Η ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ) και από ηλιακά πάνελ συνδυάζονται με κάποιες συστοιχίες μπαταριών, των οποίων το παραγόμενο ρεύμα μετασχηματίζεται από έναν αναστροφέα (inverter) και στη συνέχεια βοηθάει στην παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι υβριδικές ενεργειακές πηγές είναι πολύ πιο οικονομικές και φιλικές προς το περιβάλλον (βλ. Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Διάγραμμα Φωτοβολταϊκού/Αιολικού συστήματος ενέργειας.

## 1.2 Χρήσεις υβριδικής ενέργειας.

Οι υβριδικές ενεργειακές πηγές [10] μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να παράγουν ενέργεια και να έχουν αρκετές εφαρμογές στην τροφοδοσία όπως τηλεοράσεις, αντλίες ύδατος, μηχανές λείανσης και άλλα μηχανήματα. Η υβριδική ενέργεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ώστε να τροφοδοτήσει ενέργεια σε σχολεία, εκκλησίες που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, κλπ. Μπορεί να βοηθήσει τους χρήστες να λειτουργήσουν ηλεκτρικές συσκευές εξωτερικού χώρου αλλά και συσκευές εσωτερικού φωτισμού. Αυτά τα συστήματα μπορούν να παρέχουν συνεχή τάση αλλά και εναλλασσόμενη τάση στον ίδιο βαθμό. Η υβριδική ενέργεια είναι χρήσιμη μόνο εάν δεν παραβλέψουμε τις σημαντικές εκτιμήσεις πριν προχωρήσουμε στην εγκατάσταση. Ο παράμετροι εισόδου και εξόδου πρέπει να είναι συμβατές μεταξύ τους. Επίσης χρειάζεται να αναλυθούν οι παραλλαγές στις δυο πολύ διαφορετικές ενεργειακές πηγές, όπως είναι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Το μειωμένο εύρος του αποθέματος ενέργειας και η ποικιλία των ενεργειακών δυνατοτήτων και στις δύο πηγές πρέπει να βρίσκονται υπό την εποπτεία ενός ελεγκτή φόρτισης. Είναι επιτακτική η χρήση των αναστροφέων ώστε να μετασχηματιστεί το ηλεκτρικό ρεύμα σε μία πιο χρήσιμη μορφή όπως είναι το εναλλασσόμενο ρεύμα.

## 1.3 Εξαρτήματα Υβριδικών συστημάτων ενέργειας.

Υπάρχουν μερικά βασικά υβριδικά συστήματα χωρίς τα οποία η λειτουργία των υβριδικών συστημάτων δεν είναι εφικτή [10]. Για παράδειγμα, αν θέλουμε να παράγουμε ενέργεια με το συνδυασμό φωτοβολταϊκών και Α/Γ, πρέπει να κατέχουμε έναν πίνακα ηλιακών πάνελ, ανεμογεννήτριες, μια εφεδρική αποθήκη και ένα σύστημα μπαταριών, καθώς και ένα μετασχηματιστή τάσης. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ ή οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες είναι ένας συνδυασμός μιας σειράς από ηλιακά πάνελ. Τα ηλιακά πάνελ συντίθενται από ηλιακές κυψέλες. Ένας πίνακας ηλιακών πάνελ από μόνος του θεωρείται μια σημαντική και ισχυρή ενεργειακή πηγή. Η Α/Γ μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου (αιολική ενέργεια) σε μηχανική ενέργεια. Η ενέργεια που παράγεται από τις δύο πηγές συνδυάζεται και στέλνεται σε μια μπαταρία ή μονάδα αποθήκευσης. Η μονάδα αποθήκευσης συντηρεί την ενέργεια που παράγεται και από τις δύο πηγές. Αυτή η ενέργεια ύστερα μετατρέπεται σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια με τη χρήση αναστροφέα. Όπως ακριβώς συμβαίνει και στα εργοστάσια ηλιακής ενέργειας και αιολικής, έτσι και τα υβριδικά εργοστάσια ενέργειας μπορεί να είναι επίσης αυτόνομα και μη, αυξάνοντας έτσι την πολυμορφία αυτής της ενεργειακής τεχνολογίας.



## 2.ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΜΟΡΦΟΤΡΟΠΕΑ.

### 2.1 Μελέτη ηλεκτρικού πυραμιδικού μορφοτροπέα.

Από τα στοιχεία που έχουμε όσον αφορά τον πυραμιδικό ηλεκτρικό μορφοτροπέα (βλ. Μέρος Β΄ Κεφ.3), γνωρίζουμε πως η επιφάνεια της βάσης είναι ανάλογη των Watt που μας αποδίδει. Το εμβαδόν του τετραγώνου της βάσης των αναλογιών της μεγάλης πυραμίδας της Γκίζας είναι η επιφάνεια που μας ενδιαφέρει.

Γνωρίζουμε από τη συγκεκριμένη μελέτη πως το εμβαδόν της επιφάνειας της μεγάλης πυραμίδας της Γκίζας είναι  $34.000 \text{ m}^2$  και η ισχύς που μας αποδίδει ένας πυραμιδικός ηλεκτρικός μορφοτροπέας αυτού του μεγέθους είναι της τάξης των 1MW. Αναλογικά προκύπτει πως από το πείραμα που διεξάχθηκε στο αναλογικό μοντέλο της πυραμίδας ενός ποδιού (0,3048 m) αντιστοιχεί ισχύς της τάξης του 0,1W.

Από τα συγκεκριμένα στοιχεία μπορούμε να υπολογίσουμε την εξίσωση της ευθείας η οποία συνδέει την επιφάνεια της πυραμίδας που θέλουμε να κατασκευάσουμε σε σχέση με τα Watt που μας αποδίδει. Έχουμε:

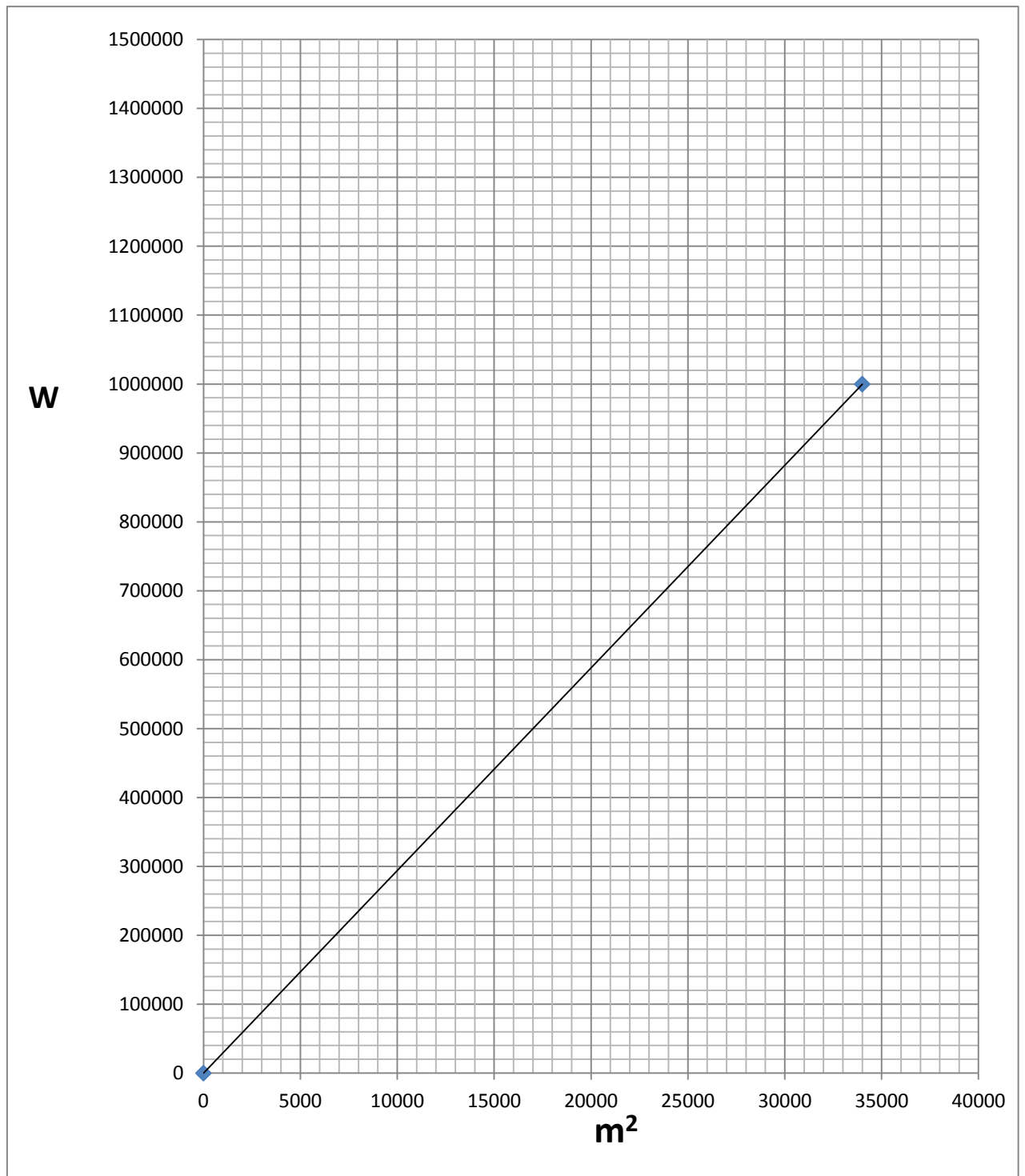
Υ(W)	Χ(m <sup>2</sup> )
0,1 (y <sub>1</sub> )	0,093 (x <sub>1</sub> )
1000000 (y <sub>2</sub> )	34000 (x <sub>2</sub> )

$$\alpha = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) = 29,412$$

για τον υπολογισμό του β έχουμε:

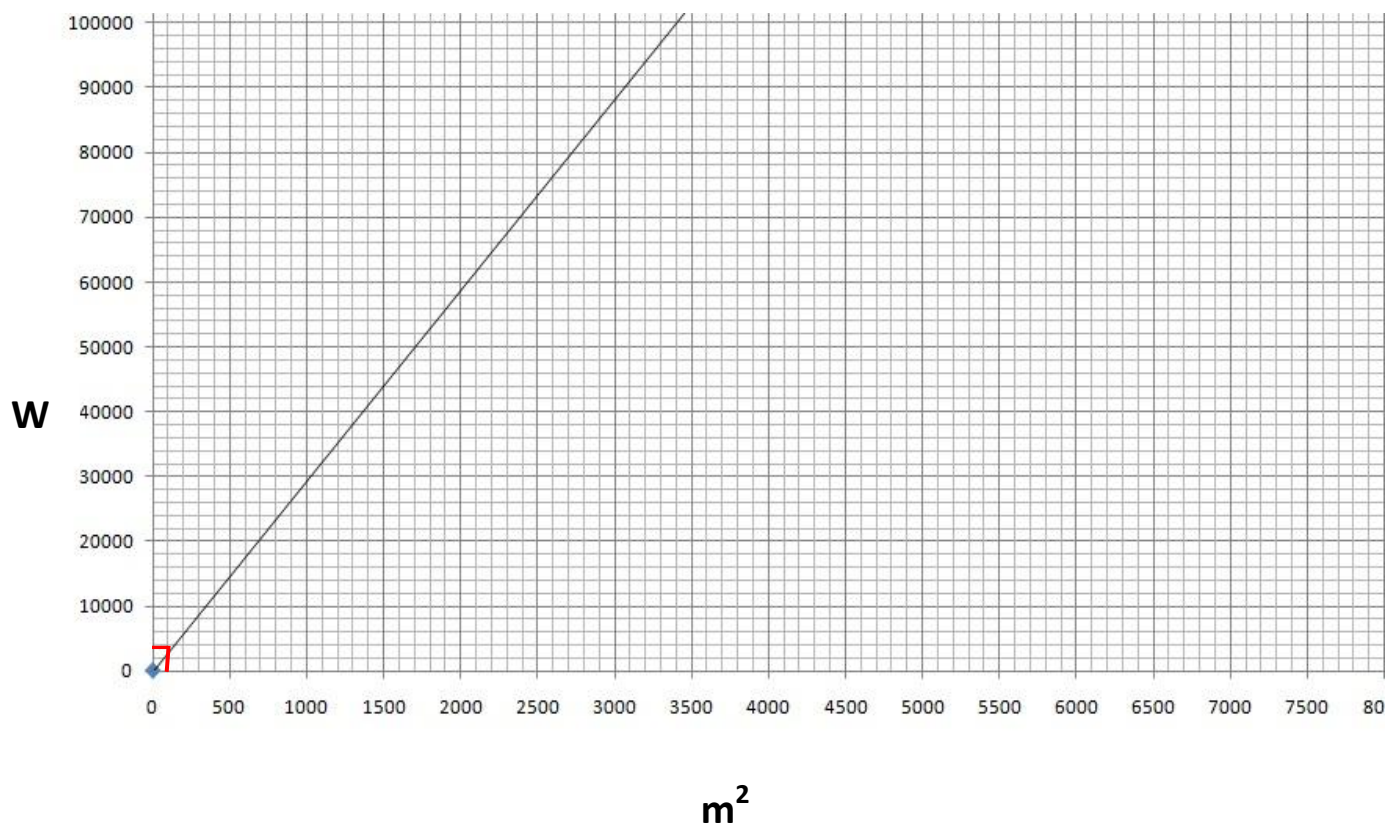
$$10^6 = 34000 * 29,412 + \beta \text{ άρα } \beta = -8$$

Οπότε η εξίσωση της ευθείας είναι :  $y = 29,412x - 8$  και το γράφημα αυτής φαίνεται παρακάτω (βλ. Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1: Γραφική παράσταση ισχύος πυραμιδικού ηλεκτρικού μορφοτροπέα ανάλογα με το εμβαδόν της βάσης.

Αλλάζοντας τις μονάδες στο υπολογιστικό φύλλο καταλήγουμε σε μία λεπτομέρεια της γραφικής παράστασης ώστε να υπολογίσουμε τα ανάλογα Watt στα  $m^2$  (100) που μας ενδιαφέρουν. Σχήμα 2.2.

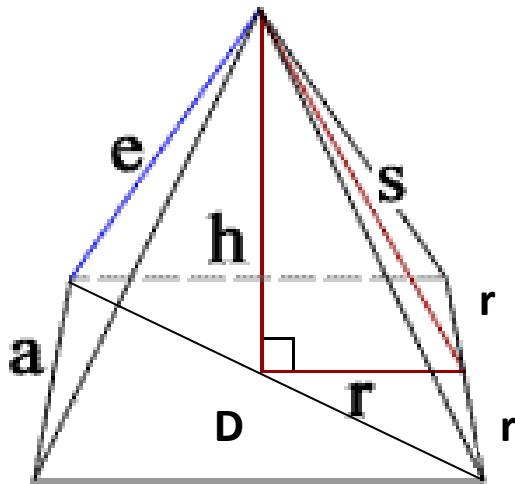


Σχήμα 2.2: Γραφική αναπαράσταση ισχύος ηλεκτρικού πυραμιδικού μορφοτροπέα στα  $100 m^2$ .

Παρατηρούμε πως στο εμβαδόν μιας οικίας  $100 m^2$  με πυραμιδική σκεπή, αντιστοιχούν γύρω στα  $3 kW$  ισχύος. Το συγκεκριμένο ποσόν ενέργειας εάν πραγματοποιούταν με σημερινές τιμές εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στοιχείων, θα κόστιζε γύρω στα  $15.000$  με  $18.000$  ευρώ.

Αν στην εξίσωση της ευθείας θέσουμε όπου  $\chi=100 (m^2)$  προκύπτει το αποτέλεσμα  $2933 W$  δηλαδή περίπου ίσο με  $3 kW$ , όπως προέκυψε και από τη γραφική παράσταση.

Έστω ότι θέλουμε να κατασκευάσουμε μια πυραμιδική σκεπή χαλκού σε μια οικία διαστάσεων  $100 m^2$ , (εμβαδόν βάσης πυραμίδας), ενώ οι υπόλοιπες διαστάσεις της προκύπτουν αναλογικά των διαστάσεων της Μεγάλης πυραμίδας της Γκίζας σε  $m$  (βλ. Σχήμα 2.3).



Βάση (a)	10
Ύψος (h)	6,363
Διαγ. Βάσης (D)	14,144

ισχύουν επίσης:

$$r=a/2$$

$$\text{και } s=8,092 \text{ m}$$

$$\text{γιατί } s^2=r^2+h^2$$

Σχήμα 2.3: Διαστάσεις Πυραμίδας 100 m<sup>2</sup>.

Η σκεπή σε μία οικία κρίνεται πλέον απαραίτητη μιας και έχει τα διπλάσια οικονομικά οφέλη στην ψύξη και στην θέρμανση από μια οικία η οποία είναι απλά καλυμμένη με κονίαμα. Συνεπώς στα γενικότερα έξοδα κατασκευής μιας σκεπής, αν στα υλικά κατασκευής της συμπεριληφθεί ο χαλκός ως εξωτερικό υλικό επίστρωσης αντί για κεραμίδια, η συγκεκριμένη κατασκευή μπορεί να εκμεταλλευτεί ενεργειακά τον ατμοσφαιρικό στατικό ηλεκτρισμό αρκεί να είναι στις αναλογίες της Μεγάλης Πυραμίδας της Γκίζας, σύμφωνα με τις πληροφορίες που παίρνουμε από τη συγκεκριμένη μελέτη. (Peter Grandics, METHOD AND APPARATUS FOR CONVERTING ELECTROSTATIC POTENTIAL ENERGY, U.S. Patent No.: 6974110 B2, December 2005.)

### 3. ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

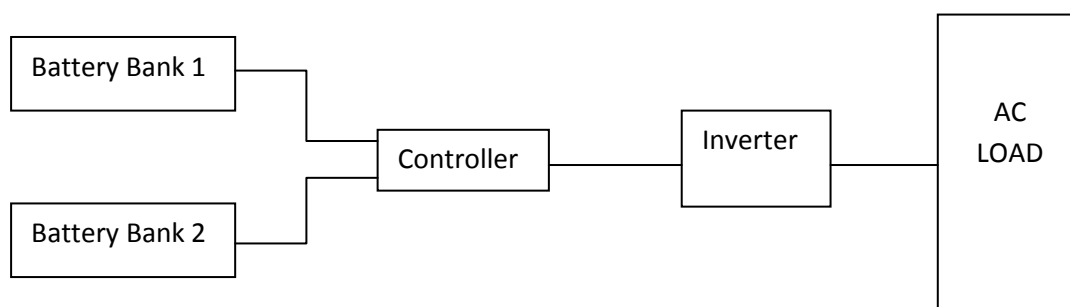
#### 3.1 Χρήση συσσωρευτών

Σε όλα τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμοποιούνται συσσωρευτές. Είναι η κύρια μονάδα αποθήκευσης ενέργειας μιας και η απευθείας τροφοδοσία ενός φορτίου είναι αναξιόπιστη, συνεπώς μια τέτοια λύση δεν χρησιμοποιείται.

Εξετάζοντας το block διάγραμμα του σχήματος 1.2, παρατηρούμε πως η σύνδεση των συσσωρευτών (battery bank) γίνεται μετά από τους ελεγκτές οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μετά τις Α.Π.Ε. Στη συνέχεια η συστοιχία συνδέεται με έναν inverter ώστε να διαμορφωθεί η κατάλληλη τάση (από DC σε AC) που χρειάζεται το φορτίο για να λειτουργήσει, και τελικά ακολουθεί η σύνδεση του φορτίου. Η συγκεκριμένη συνδεσμολογία είναι η ενδεικνυόμενη για κάθε σύστημα που χρησιμοποιεί Α.Π.Ε.

#### 3.2 Μια διαφορετική λύση

Μια εναλλακτική συνδεσμολογία όσον αφορά τις συστοιχίες θα μπορούσε να είναι με δύο συστοιχίες σε σύνδεση, όπου κάθε μια βρίσκεται σε λειτουργία φόρτισης-εκφόρτισης διαδοχικά. Αυτό μπορεί να έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Κατά τη διάρκεια φόρτισης της μίας συστοιχίας από το εγκατεστημένο σύστημα Α.Π.Ε., η δεύτερη τροφοδοτεί το φορτίο εφόσον είναι επαρκώς φορτισμένη. Με τη χρήση ενός κατάλληλου ελεγκτή ελέγχεται το ποσόν φόρτισης της κάθε μιας συστοιχίας ώστε να χρησιμοποιηθεί για τροφοδοσία του φορτίου εκείνη η οποία επαρκεί. Σχήμα 3.1



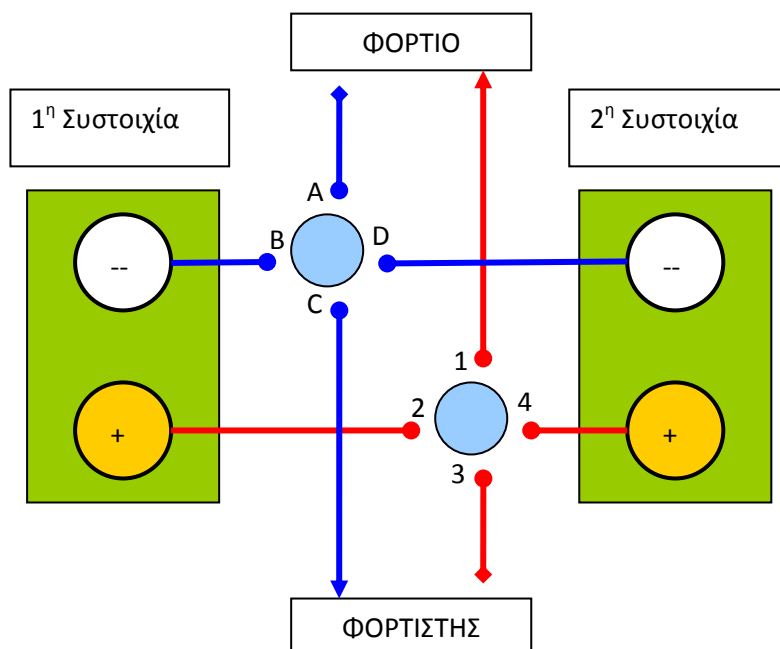
Σχήμα 3.1 Εναλλακτική συνδεσμολογία συστοιχιών.

Ακολουθεί η περιγραφή διαφορετικών προτάσεων, σχετικά με τους δυνατούς τρόπους λειτουργίας του συστήματος ελέγχου (βλ. Σχ. 3.1: Controller).

## Δ. ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.

Στο τρίτο μέρος είδαμε πως με τη σύνδεση πολλαπλών συστοιχιών μπορούμε να επιτύχουμε καλύτερη διαχείριση της ενέργειας που παράγεται από μια Α.Π.Ε. καθώς επίσης και τη συνεργασία πολλών εναλλακτικών πηγών για την ηλεκτροδότηση μιας οικίας. Στα παρακάτω παραδείγματα προτείνονται κάποιες συνδεσμολογίες προς τη συνεργασία και τον έλεγχο δύο (ή και περισσότερων) συστοιχιών.

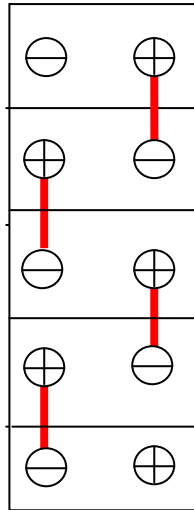
### 1.ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ.



σχήμα 1.1 Τρόπος σύνδεσης συστοιχιών με διακόπτες κινητών ελασμάτων

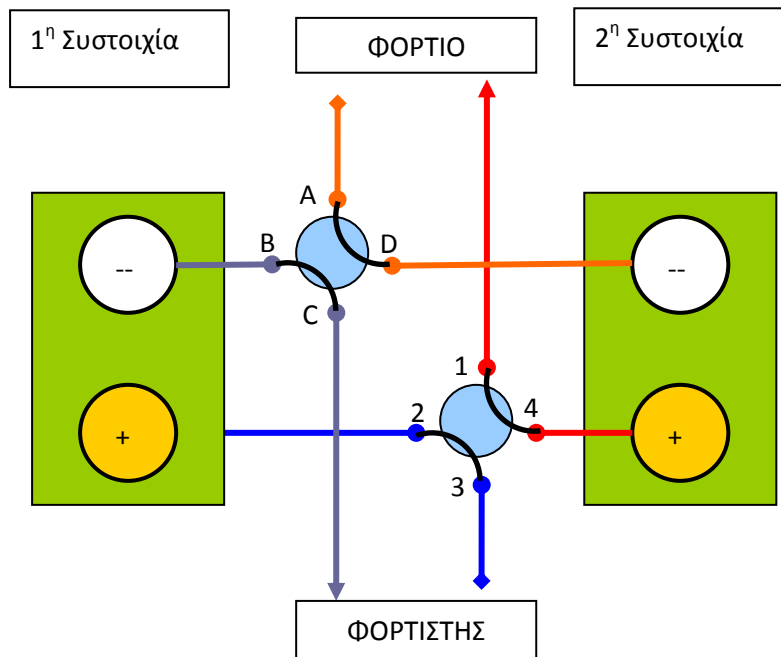
Στο σχήμα 1.1 διακρίνουμε τον τρόπο σύνδεσης δύο συστοιχιών με το φορτιστή της εγκατάστασης που διαθέτουμε (Α.Π.Ε.) και με το τελικό φορτίο (οικία). Το όλο σύστημα στηρίζεται στο γεγονός φόρτισης της μιας συστοιχίας όσο η δεύτερη τροφοδοτεί την οικία (αποφόρτιση). Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με τον έλεγχο του ποσοστού της φόρτισης της κάθε μιας συστοιχίας (βολτόμετρο) ή ακόμα και χρονικά ώστε να επιλέγεται κάθε φορά η συστοιχία που μπορεί να τροφοδοτήσει επαρκώς την οικία σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης.

Φυσικά υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης πολλαπλών μπαταριών σε κάθε συστοιχία αναλόγως τις ανάγκες τροφοδότησης της εκάστοτε οικίας. Η σύνδεση πολλαπλών μπαταριών διακρίνεται στο σχήμα 1.2. Συγκεκριμένα επιλέγουμε την εν σειρά σύνδεση λόγω αύξησης της τάσης (βλ. ΚεφΒ σχ4.2)



Σχήμα 1.2 Σύνδεση πολλαπλών μπαταριών

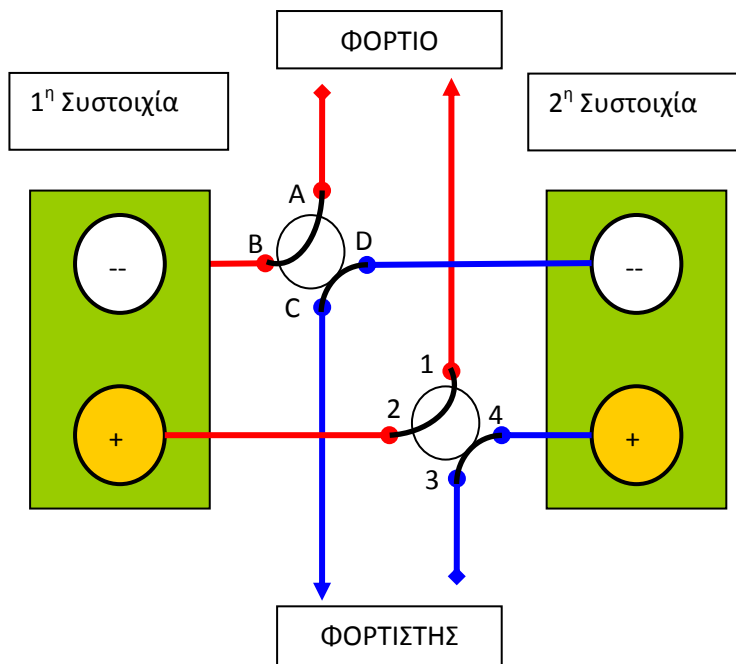
**1.1 Φάση πρώτη. Φόρτιση πρώτης συστοιχίας, εκφόρτιση δεύτερης.**



Σχήμα 1.3 Πρώτη φάση σύνδεσης

Στο σχήμα 1.3 διακρίνουμε την πρώτη φάση συνδεσμολογίας σύμφωνα με την οποία η πρώτη συστοιχία βρίσκεται σε φάση φόρτισης από την Α.Π.Ε., ενώ η δεύτερη τροφοδοτεί την οικία. Όπως φαίνεται και από τους αντίστοιχους ακροδέκτες, η πρώτη συστοιχία συνδέεται μέσω των ακροδεκτών Β, C και 2,3 με το φορτιστή ενώ η δεύτερη συνδέεται μέσω των ακροδεκτών Α, D και 1,4 με το φορτίο.

## 1.2 Φάση δεύτερη. Φόρτιση δεύτερης συστοιχίας εκφόρτιση πρώτης.



Σχήμα 1.4 Δεύτερη φάση σύνδεσης.

Στο σχήμα 1.4 διακρίνουμε τη δεύτερη φάση σύνδεσης με τα μεταλλικά ελάσματα να έχουν αλλάξει τώρα θέση ώστε να συνδεθεί με το φορτίο η πρώτη συστοιχία τροφοδοτώντας την οικία ενώ η δεύτερη συστοιχία φορτίζεται από την Α.Π.Ε. Η συνδεσμολογία των ακροδεκτών γίνεται για την πρώτη συστοιχία μέσω των ακροδεκτών Α,Β και 1,2 ενώ για τη δεύτερη, μέσω των ακροδεκτών C,D και 3,4. Η σύνδεση και για τις δύο φάσεις φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα αγωγιμότητας 1.

ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ	ABCD	1234	Κατάσταση Συστοιχίας
ΦΑΣΗ i	A+D	1+4	2 <sup>η</sup> εκφορτίζεται 1 <sup>η</sup> φορτίζεται
	B+C	2+3	
ΦΑΣΗ ii	A+B	1+2	1 <sup>η</sup> εκφορτίζεται 2 <sup>η</sup> φορτίζεται
	C+D	3+4	

Πίνακας 1. Αγωγιμότητα συστοιχιών.

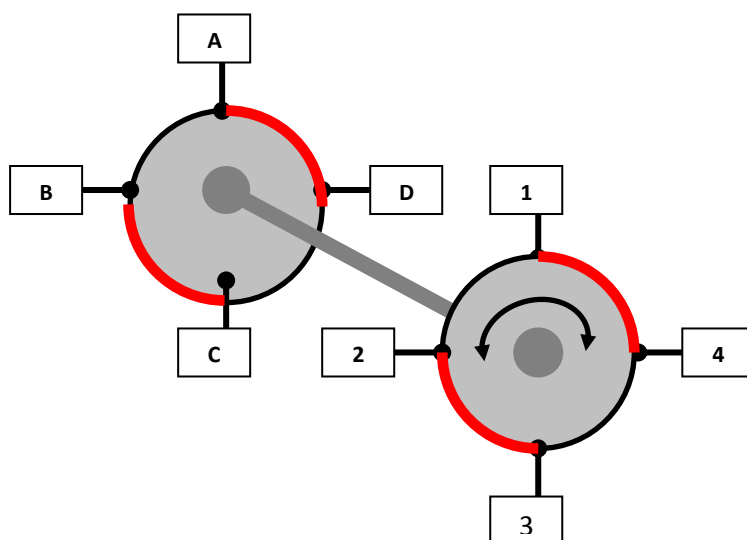


## 2. ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ

Ο μηχανικός έλεγχος για τη φόρτιση των συστοιχιών μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος με τη χρήση παλινδρομικών διακοπών με κάποια σημεία τους αγωγή, ενώ ο δεύτερος με χρήση περιστροφικών διακοπών επίσης με κάποια σημεία τους αγωγή (ώστε να πραγματοποιείται η φόρτιση της μιας μόνο συστοιχίας κάθε φορά) και κάποια άλλα κατασκευασμένα από μη αγώγιμο υλικό. Ωστόσο και στις δύο περιπτώσεις ο ελεγκτής μπορεί να είναι συγχρονιστήρας ή χρονόμετρο χρησιμοποιώντας τιμές σε σχέση με το πόσο γρήγορα φορτίζεται (αλλά και αποφορτίζεται) η κάθε συστοιχία και επαρκεί για την τροφοδοσία της εγκατάστασης.

### 2.1 Παλινδρομικό σύστημα

Στο σχήμα 2.1 περιγράφεται το παλινδρομικό σύστημα φόρτισης μέσω των διακοπών με τα αγωγή σημεία που περιγράφονται με κόκκινο χρώμα. Επίσης χρησιμοποιείται ο πίνακας αγωγιμότητας 1 για την περιγραφή της λειτουργίας του κυκλώματος.

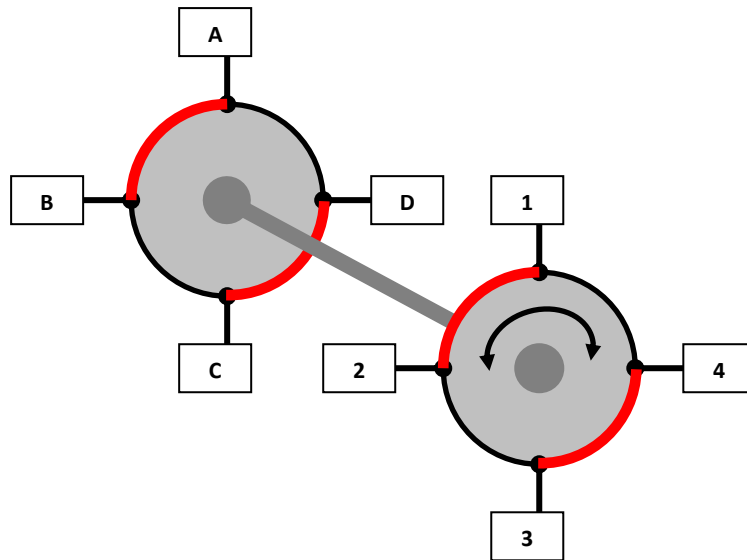


Σχήμα 2.1 Φάση πρώτη παλινδρομικού συστήματος διακοπών

Στο συγκεκριμένο σύστημα κινούνται τα αγωγή μέρη φέρνοντας σε επαφή τα μέρη που συνδέονται με τη συστοιχία που θέλουμε να φορτίζεται την τρέχουσα στιγμή. Το χρονικό στιγμιότυπο που περιγράφεται από το σχήμα 2.1, είναι η πρώτη φάση κατά την οποία φορτίζεται η 1<sup>η</sup> συστοιχία (ακροδέκτες B,C και 2,3) και εκφορτίζεται η δεύτερη (ακροδέκτες A,D και 1,4). Ο χρόνος που διαρκεί η πρώτη φάση καθορίζεται από την τιμή του χρονικού ελεγκτή που έχουμε επιλέξει μέχρι να κινηθεί το σύστημα προς τα αριστερά ώστε να περάσουμε στη δεύτερη φάση.

Στο σχήμα 2.2 διακρίνουμε τη δεύτερη φάση αγωγιμότητας των συστοιχιών όπως περιγράφεται από τον πίνακα 1. Ουσιαστικά το σύστημα κινήθηκε προς τα αριστερά κατόπιν εντολής του χρονικού ελεγκτή και οι αγωγίμες επαφές αυτή τη φορά

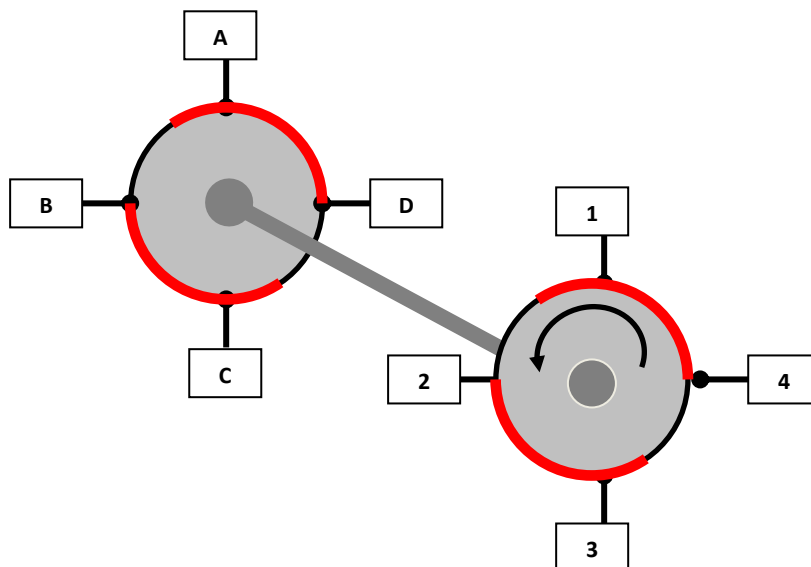
συνδέονται με τους ακροδέκτες A, B και 1,2 της πρώτης συστοιχίας (που τροφοδοτεί την εγκατάσταση), καθώς επίσης και οι ακροδέκτες C,D και 3,4 της δεύτερης η οποία βρίσκεται σε φόρτιση. Στη συνέχεια ο χρονικός ελεγκτής δίνει εντολή να κινηθούν οι αγωγίμες επαφές προς τα δεξιά οπότε περνάει το σύστημα ξανά στην πρώτη φάση.



Σχήμα 2.2 Φάση δεύτερη παλινδρομικού συστήματος διακοπών.

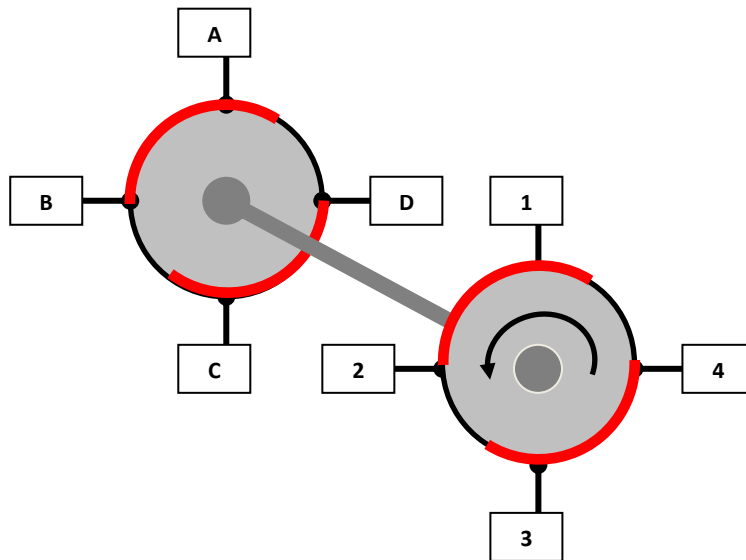
## 2.2 Περιστροφικό σύστημα διακοπών

Το περιστροφικό σύστημα διακοπών χρησιμοποιεί την ίδια αρχή με το παλινδρομικό, με διαφορά όμως ότι περιστρέφεται προς μία κατεύθυνση. Επιπροσθέτως ενδέχεται να έχει περισσότερη αγωγίμη επιφάνεια αναλόγως εάν χρειάζονται περισσότερο χρόνο οι ακροδέκτες της εκάστοτε συστοιχίας να άγουν. Ο ελεγκτής και σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιεί ως σταθερά το χρόνο φόρτισης – εκφόρτισης και μπορεί να είναι συγχρονιστήρας ή χρονόμετρο.



Σχήμα 2.3 Φάση πρώτη περιστροφικού συστήματος διακοπών.

Ακριβώς όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις και σύμφωνα με τον πίνακα αγωγιμότητας 1, στη συγκεκριμένη πρώτη φάση που περιγράφεται στο σχήμα 2.3 φορτίζεται η 1<sup>η</sup> συστοιχία (ακροδέκτες B,C και 2,3) και εκφορτίζεται η δεύτερη (ακροδέκτες A,D και 1,4).

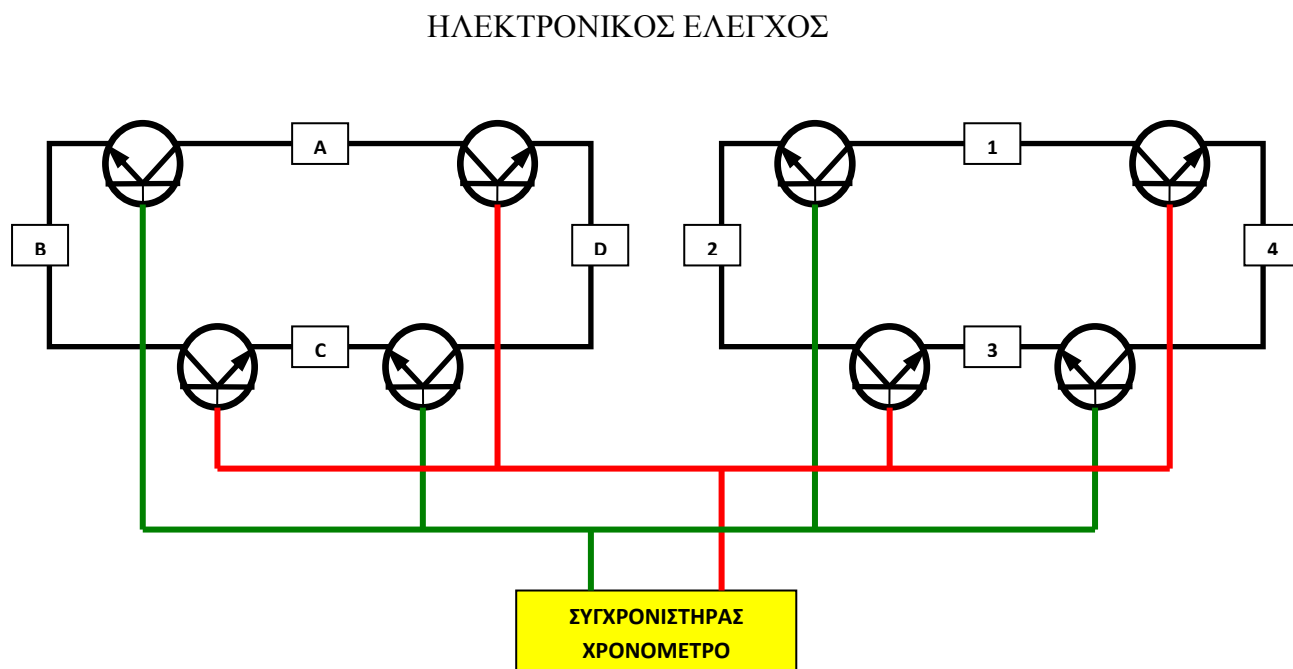


Σχήμα 2.4 Φάση δεύτερη περιστροφικού συστήματος διακοπών.

Κατά τα γνωστά, στη δεύτερη φάση φορτίζεται η 2<sup>η</sup> συστοιχία (ακροδέκτες C,D και 4,3) και εκφορτίζεται η πρώτη (ακροδέκτες A,B και 1,2) όπως διακρίνεται στο σχήμα 2.4.

### 3.ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

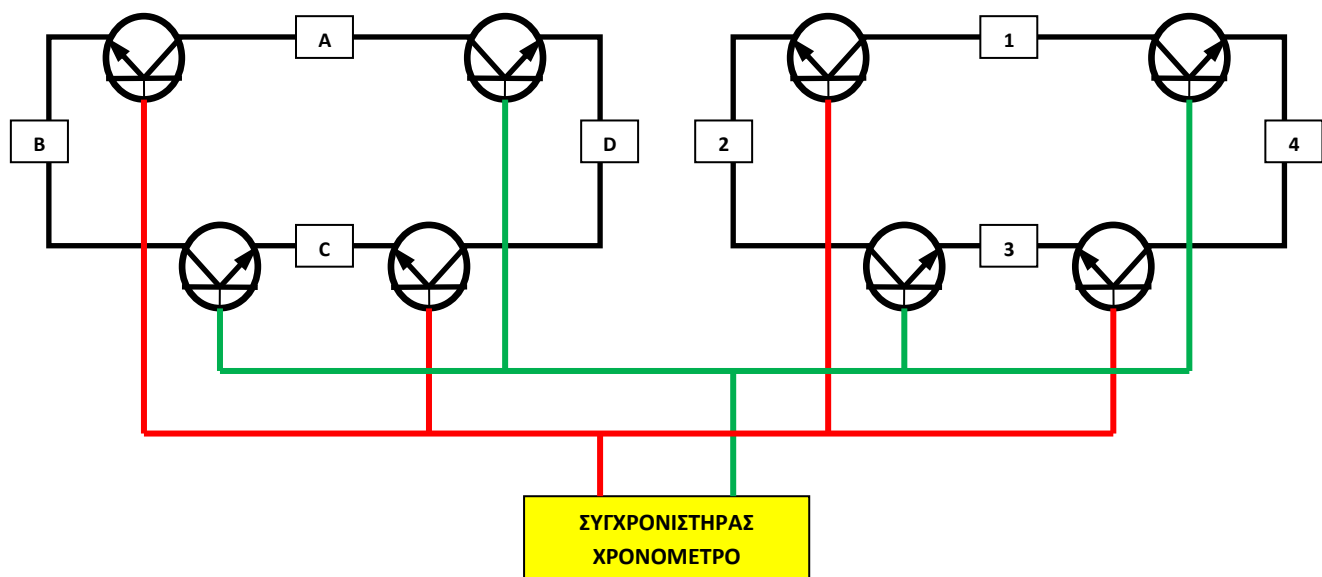
Ως τελευταία λύση προτείνεται η χρήση ηλεκτρονικών ισχύος (transistor MOSFET IGBT, thyristors κλπ) προκειμένου να πραγματοποιηθεί η φόρτιση των συστοιχιών διαδοχικά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί επίσης να γίνεται η εναλλαγή με τη χρήση ενός συγχρονιστήρα ή ενός χρονομέτρου σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Διαδοχική φόρτιση συστοιχιών με τη χρήση ηλεκτρονικών ισχύος. Φάση πρώτη.

Στο συγκεκριμένο σχήμα παρουσιάζεται η πρώτη φάση του συστήματος όπως περιγράφεται στον πίνακα αγωγιμότητας 1. Δηλαδή φορτίζεται η 1<sup>η</sup> συστοιχία (ακροδέκτες B,C και 2,3) και εκφορτίζεται η δεύτερη (ακροδέκτες A,D και 1,4). Αυτό πραγματοποιείται με τις επαφές των τρανζίστορ τα οποία άγουν την τρέχουσα χρονική περίοδο (με πράσινο χρώμα). Προφανώς για να λειτουργεί το σύστημα τα υπόλοιπα τρανζίστορ (με κόκκινο χρώμα) δεν άγουν.

Κατά τη δεύτερη φάση, ο ελεγκτής δίνει εντολή και έτσι τα τρανζίστορ που ήταν ανενεργά τώρα άγουν, ενώ τα ενεργά τρανζίστορ της προηγούμενης φάσης τώρα δεν άγουν. Συνεπώς σύμφωνα με τον πίνακα αγωγιμότητας 1 φορτίζεται η 2<sup>η</sup> συστοιχία (ακροδέκτες C,D και 4,3) και εκφορτίζεται η πρώτη (ακροδέκτες A,B και 1,2) σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Διαδοχική φόρτιση συστοιχιών με τη χρήση ηλεκτρονικών ισχύος. Φάση δεύτερη.

## Ε. ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΟΙΚΙΑΣ (ΦΟΡΤΙΟΥ).

Στο προηγούμενο μέρος φορτίζοντας διαδοχικά μία από τις δύο ή περισσότερες συστοιχίες χρησιμοποιούμε τελικά την παραγόμενη DC τάση από τις Α.Π.Ε. για να ηλεκτροδοτήσουμε την οικία που μας ενδιαφέρει ανάλογα με τις ανάγκες της. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Με τη συνεργασία ηλεκτροκινητήρων (Η/Κ) και ηλεκτρογεννητριών (Η/Γ), καθώς και με πιο σύγχρονες μεθόδους χρησιμοποιώντας inverters.

### 1. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ο Ηλεκτρικός κινητήρας ή ηλεκτροκινητήρας, (motor, κοινώς μοτέρ), είναι διάταξη που χρησιμοποιείται για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια, που τυγχάνει εξαιρετικής εκμετάλλευσης από τις βιομηχανίες [11].

Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτρικού κινητήρα είναι η δύναμη Lorentz. Όταν ένας αγωγός από τον οποίο διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο ασκείται πάνω του μία δύναμη που είναι ίση με:  $F = I * \lambda * B$

Όπου:  $I$  = Ένταση Ρεύματος  $\lambda$  = Μήκος Αγωγού  $B$  = Ένταση Μαγνητικού πεδίου

Οι ηλεκτροκινητήρες διακρίνονται σε "συνεχούς ρεύματος" (DC motors) και σε "εναλλασσόμενου ρεύματος" (AC motors). Οι ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται επιμέρους στους "ασύγχρονους" ή "επαγωγικούς κινητήρες" και στους "σύγχρονους κινητήρες". Σύγχρονοι κινητήρες είναι οι κινητήρες στους οποίους η μέση ταχύτητα περιστροφής είναι ευθέως ανάλογη της συχνότητας της εφαρμοζόμενης εναλλασσόμενης τάσης.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούνται από:

- Τον Δρομέα

Ο Δρομέας αποτελείται από τον ηλεκτροφόρο αγωγό ο οποίος είναι τοποθετημένος σε πυκνές περιελίξεις (σπείρες) ώστε να περιέχει όσο μεγαλύτερο μήκος αγωγού γίνεται για δεδομένο όγκο.

- Τον Στάτη

Ο Στάτης αποτελείται από μόνιμους ή τεχνητούς μαγνήτες οι οποίοι δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο.

- Τις Ψήκτρες

Οι Ψήκτρες έρχονται σε επαφή με τον δρομέα τροφοδοτώντας τον με ρεύμα.

## 2. ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Η γεννήτρια ή ηλεκτρογεννήτρια, (generator), είναι μηχανή που βασίζεται πάνω στους νόμους της ηλεκτροφυσικής και ιδιαίτερα του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής που ανακάλυψε ο διάσημος άγγλος φυσικός Μιχαήλ Φαραντέυ, το 1831, και που αφορά την ενέργεια και τη μετατροπή της από τη μια μορφή σε μια άλλη [12].

Συγκεκριμένα η γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, σύμφωνα με φαινόμενο της φυσικής κατά το οποίο εάν ένα πηνίο περιστραφεί μέσα σ' ένα μαγνητικό πεδίο, τότε στις άκρες του πηνίου παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Η γεννήτρια αποτελείται από δύο μέρη: το ακίνητο μέρος της που λέγεται στάτορας, ή στατόν, ή επαγωγέας ή πόλοι της μηχανής, στο οποίο υπάρχουν μαγνήτες (μόνιμοι μαγνήτες ή ηλεκτρομαγνήτες) και το κινητό μέρος της που λέγεται επαγωγίμο, ή στρεπτόν ή ρότορας (εκ του αγγλικού rotor), στο οποίο υπάρχουν πηνία. Γυρίζοντας το ρότορα μέσα στο στάτορα παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Η περιστροφή του ρότορα γίνεται με ατμομηχανή, με υδροστρόβιλο κλπ. Η πιο γνωστή και απλούστερη ηλεκτρογεννήτρια είναι το γνωστό «δυναμό» των ποδηλάτων.

Οι γεννήτριες στην έξοδό τους παράγουν είτε εναλλασσόμενο ρεύμα είτε συνεχές ρεύμα («δυναμό»). Οι περισσότερες γεννήτριες συνεχούς ρεύματος μοιάζουν με τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Η διαφορά τους έγκειται στην ύπαρξη ενός συγκεκριμένου μηχανισμού στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, που ονομάζεται συλλέκτης. Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος χωρίζονται σε γεννήτριες ανεξάρτητης διέγερσης, γεννήτριες παράλληλης διέγερσης, γεννήτριες διέγερσης σειράς, γεννήτριες με αθροιστική σύνθετη διέγερση και γεννήτριες με διαφορική σύνθετη διέγερση. Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος είναι αρκετά σπάνιες στα σύγχρονα συστήματα ισχύος, λόγω της αντικατάστασής τους από την συνδυασμένη χρήση γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος και ανορθωτή προκειμένου να παραχθεί το συνεχές ρεύμα.

### 3. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΡΑ-ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.

Σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος συνυπάρχουν τα φαινόμενα του κινητήρα και της γεννήτριας αφού ουσιαστικά είναι η ίδια μηχανή αλλά με διαφορετική ροή ενέργειας (Μηχανική ενέργεια -> Ηλεκτρική ενέργεια).

Συγκεκριμένα η μόνη διαφορά είναι ότι οι ψήκτρες εις μεν την ηλεκτρογεννήτρια αποτελούν τους ρευματοδότες, ενώ στον ηλεκτροκινητήρα τους ρευματολήπτες.

Έτσι καθώς ένας κινητήρας αυξάνει της στροφές λειτουργίας του, δημιουργείται στον αγωγό μία ηλεκτρεγερτική δύναμη η οποία αντιτίθεται στην ηλεκτρεγερτική δύναμη που τροφοδοτεί τον αγωγό. Δηλαδή ο κινητήρας λειτουργεί και σαν γεννήτρια που τροφοδοτεί αντίθετα τον αγωγό, μειώνοντας το ρεύμα που τον διαρρέει.

Η τάση που παράγεται από το φαινόμενο αυτό ισούται με:

$$e = u * B * \lambda$$

$u$  = Ταχύτητα αγωγού  $B$  = Ένταση Μαγνητικού Πεδίου  $\lambda$  = Μήκος Αγωγού.

#### 3.1 Μεταγωγικός διακόπτης γεννήτριας με ελεγκτή.

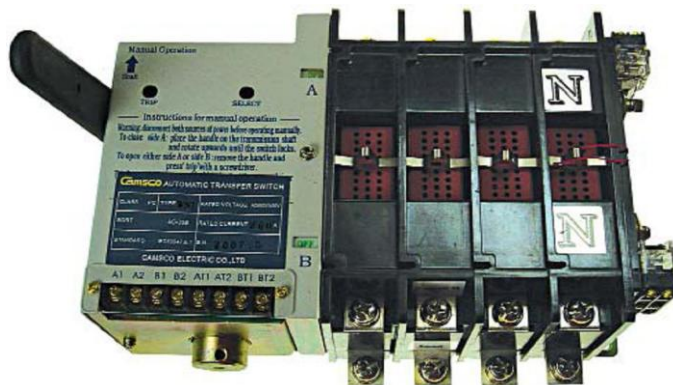
Οι μεταγωγικοί διακόπτες χρησιμοποιούνται σε διάφορους αυτοματισμούς προκειμένου να μεταφέρουν την τάση σε διαφορετικούς εισόδους ενός συστήματος, επιτρέποντας έτσι να συνδεθούν διαφορετικά συστήματα ενέργειας σε περίπτωση βλάβης (backup generators) ή προς το σταθερό δίκτυο της ΔΕΗ [15].

Ο Μεταγωγικός διακόπτης γεννήτριας (ATS) (εκόνα 3.1) σε συνδυασμό με το controller ATS-ST αναλαμβάνει να πραγματοποιήσει τη μεταγωγή από το δίκτυο της ΔΕΗ στη γεννήτρια σε περίπτωση διακοπής, χωρίς τη χρήση πρόσθετου αυτοματισμού.

Ο διακόπτης διαθέτει 4πολική είσοδο από ΔΕΗ, 4πολική είσοδο από γεννήτρια και 4πολική έξοδο. Επιπλέον διαθέτει και δυνατότητα χειροκίνητης μεταγωγής που δεν τη διαθέτουν τα ρελέ σε περίπτωση βλάβης.

Το controller, εκτός από την επιτήρηση της τάσης και το χειρισμό του διακόπτη, δίνει

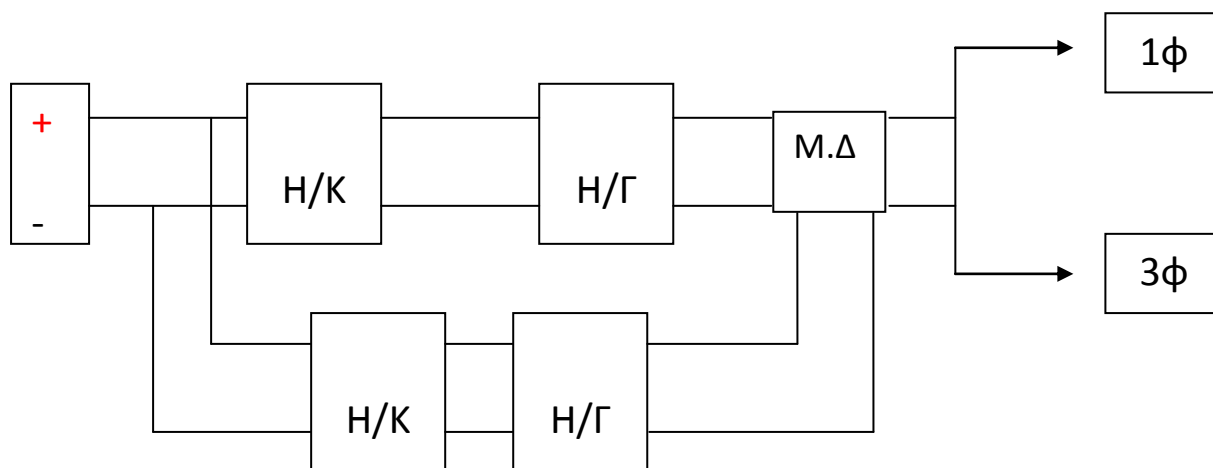
εντολή μέσω ξηρής επαφής (Remote start) στον πίνακα της γεννήτριας για να εκκινήσει ή να σταματήσει το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.



Εικόνα 3.1 Μεταγωγικός Διακόπτης.

### 3.2 Συνεργασία Ηλεκτροκινητήρα (Η/Κ) και Ηλεκτρογεννήτριας (Η/Γ) για τροφοδότηση φορτίου.

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι μια παραδοσιακή μέθοδος για την τροφοδοσία μιας εγκατάστασης με πολλές εφαρμογές με πιο συχνή την εγκατάσταση σε νοσοκομεία. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.1 η φορτισμένη συστοιχία τροφοδοτεί τον Η/Κ ο οποίος στη συνέχεια κινεί την Η/Γ η οποία δίνει τελικά την εναλλασσόμενη τάση στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.



Σχήμα 3.1 Συνεργασία Η/Κ – Η/Γ για την τροφοδότηση εγκατάστασης μονοφασικού ή τριφασικού δικτύου.

Στο σχήμα 3.1 διακρίνουμε τη σύνδεση ενός Η/Κ και μιας Η/Γ η οποία τροφοδοτεί μια εγκατάσταση συνδεδεμένη τελικά στο δίκτυο. Το εναλλακτικό ίδιο σύστημα που φαίνεται παράλληλα προς τα κάτω στο block διάγραμμα, μας επιτρέπει να έχουμε μια δικλείδα ασφαλείας στο παρόν σύστημα ώστε να εξασφαλίσουμε σταθερότητα στο τελικό φορτίο, ενώ η μεταγωγή από το ένα σύστημα στο άλλο επιτυγχάνεται με τη σύνδεση ενός μεταγωγικού διακόπτη.

#### 4.ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTERS)

Ο αναστροφέας (επίσης μετατροπέας ή αναστροφέας) (inverter) είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη [13]. Ο αναστροφέας πραγματοποιεί την ανάποδη διαδικασία ενός ανορθωτή.

Ο αναστροφέας είναι δυνατόν να υπάρχει ως αυτόνομη ηλεκτρονική συσκευή, ή ως βαθμίδα άλλης ηλεκτρονικής συσκευής. Ως αυτόνομη συσκευή, χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, και όπου αλλού χρειάζεται να μετατρέψουμε συνεχή τάση 12 V ή 24 V (συνηθέστερες τιμές), σε εναλλασσόμενη 220 V. Ως τελική βαθμίδα, υπάρχει στα UPS (συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος).

Η κυριότερη διάκριση των αναστροφέων όσον αφορά τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. είναι σε αναστροφείς "διασυνδεδεμένων συστημάτων" και "αυτόνομων συστημάτων".

Όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής αναστροφέων "αυτόνομων συστημάτων", η κυριότερη διάκριση είναι ανάμεσα σε αναστροφείς "καθαρού



ημιτόνου" και "τροποποιημένου ημιτόνου". Οι μετατροπείς καθαρού ημιτόνου έχουν υψηλότερο κόστος αλλά επιτυγχάνουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης, είναι συμβατοί με όλες τις συσκευές και έχουν γενικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

#### 4.1 Κατηγορίες αναστροφών

##### 4.1.1 Αναστροφείς τροποποιημένου ημιτόνου

Η έξοδος ενός αναστροφέα τροποποιημένου ημιτόνου είναι παρόμοια με μία τετραγωνική κυματομορφή με τη διαφορά ότι η έξοδος οδηγείται σε μηδενικά volts για ένα χρονικό διάστημα πριν την αλλαγή από θετικό σε αρνητικό [14]. Είναι απλή κατασκευή και με μικρό κόστος (περίπου \$0.10USD/Watt) ενώ είναι συμβατό με τις περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές, εκτός από συγκεκριμένες ευαίσθητες ή εξειδικευμένες, παράδειγμα αποτελούν εκτυπωτές Laser, λαμπτήρες φθορισμού και ηχητικός εξοπλισμός. Οι περισσότερες AC μηχανές θα λειτουργήσουν με αυτήν την παροχή ενέργειας αν και θα βρίσκονται σε μείωση της απόδοσης περίπου στο 20%.

##### 4.1.2 Αναστροφείς καθαρού ημιτόνου

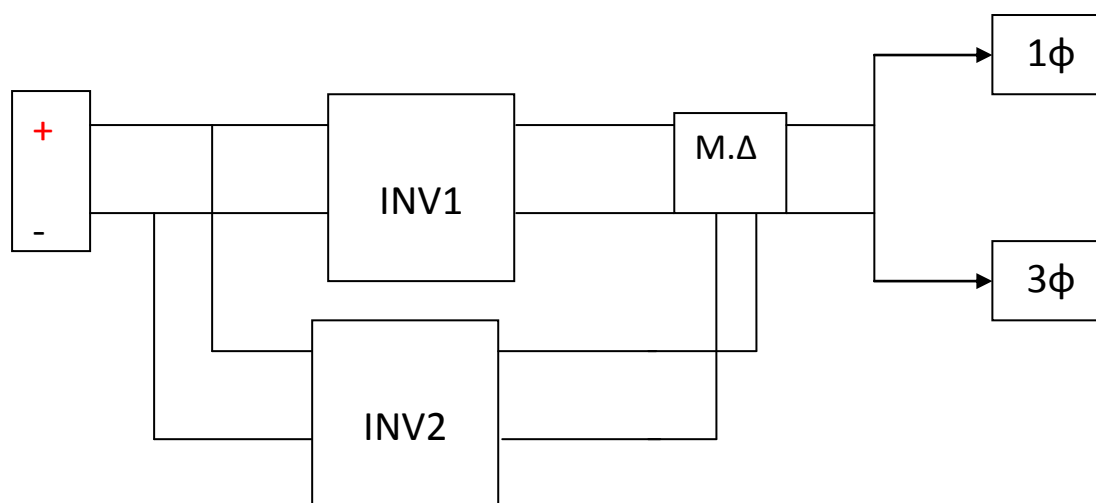
Ένας αναστροφέας καθαρού ημιτόνου παράγει σχεδόν τέλειες ημιτονικές κυματομορφές (<3% συνολική αρμονική διαστρέβλωση) που είναι ουσιαστικά η ίδια ως η υποβοηθούμενα παρεχόμενη ενέργεια δικτύου [14]. Συνεπώς είναι συμβατή με όλες τις AC ηλεκτρονικές συσκευές. Αυτός είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται στους αναστροφείς διασυνδεδεμένων συστημάτων. Ο σχεδιασμός τους είναι πιο περίπλοκος και κοστίζει περισσότερο ανά μονάδα ενέργειας. Ο ηλεκτρικός αναστροφέας είναι ένας υψηλής ενέργειας ηλεκτρονικός ταλαντωτής. Το όνομά του οφείλεται στο γεγονός πως οι πρώτοι μηχανικοί AC σε DC αναστροφείς ήταν κατασκευασμένοι να λειτουργούν ανάστροφα και έτσι «αναστράφηκαν» να μετατρέπουν την DC τάση σε AC.

##### 4.1.3 Αναστροφείς διασυνδεδεμένων συστημάτων.

Οι αναστροφείς διασυνδεδεμένων συστημάτων είναι αναστροφείς ημιτονικής κυματομορφής σχεδιασμένοι να διοχετεύουν ηλεκτρική ενέργεια στο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [14]. Τέτοιου τύπου αναστροφείς πρέπει να συγχρονιστούν με την συχνότητα του δικτύου. Συνήθως περιέχουν ένα ή περισσότερα στοιχεία ανιχνευτών μέγιστου σημείου ισχύος ώστε να εξάγουν το μέγιστο ποσό ενέργειας και επίσης να συμπεριλάβουν στοιχεία ασφαλείας.

Ένας μετασχηματιστής επιτρέπει στην εναλλασσόμενη τάση να μετασχηματιστεί σε οποιαδήποτε επιθυμητή τάση, της ίδιας συχνότητας. Οι αναστροφείς, όπως και οι ανορθωτές για DC τάση, σχεδιάζονται για να μετατρέπουν μία τάση AC ή DC, σε οποιαδήποτε άλλη τάση επιθυμητής συχνότητας. Η ηλεκτρική ενέργεια εξόδου δεν μπορεί ποτέ να υπερβεί την είσοδο, αλλά οι αποδόσεις είναι υψηλές με ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας να χάνεται ως θερμότητα.

## 4.2 Συνεργασία αναστροφέων για την τροφοδότηση φορτίου.



Σχήμα 4.1 Συνεργασία αναστροφέων για την τροφοδότηση εγκατάστασης μονοφασικού ή τριφασικού δικτύου.

Στο σχήμα 4.1 διακρίνουμε μια εναλλακτική διάταξη του σχήματος 3.1 με αναστροφείς. Ο πρώτος αναστροφέας μετατρέπει την αποθηκευμένη DC τάση των συσσωρευτών σε AC και τη διανέμει σε μονοφασικό ή τριφασικό δίκτυο. Όπως και στο σχήμα 3.1 υπάρχει ένας δεύτερος αναστροφέας προκειμένου να εξασφαλίσουμε τη σταθερότητα και αδιάλειπτη τροφοδοσία του τελικού φορτίου. Επίσης ο δεύτερος αναστροφέας μπορεί να αντικατασταθεί από μια συνεργασία Η/Κ και Η/Γ προκειμένου να επιτευχθεί ο ίδιος σκοπός, με μειονέκτημα όμως την αύξηση του όγκου στην εγκατάστασή μας, αλλά μείωση όμως του τελικού κόστους. Επίσης με τη σύνδεση ενός μεταγωγικού διακόπτη επιτυγχάνουμε τη μετάβαση από το ένα σύστημα στο άλλο.

## 5.ΦΙΛΤΡΑ

Τα τελευταία χρόνια η εκτεταμένη χρήση τόσο μη γραμμικών φορτίων, όσο και μη γραμμικών συσκευών, όπως οι αναστροφείς και οι ανορθωτές, προκαλούν την παρουσία αρμονικών στην τάση και στο ρεύμα, με αποτέλεσμα την παραμόρφωση των μεγεθών αυτών [16].

Η αρμονική παραμόρφωση είναι με τη σειρά της πηγή πολλών προβλημάτων, όπως απώλειες ισχύος, υψηλά ρεύματα στους ουδέτερους, προβλήματα αντήχησης (resonance problems), κ.α.

Ο συνηθέστερος τρόπος αντιμετώπισης των αρμονικών είναι η χρήση παθητικών φίλτρων. Τα παθητικά φίλτρα είναι RLC κυκλώματα και χωρίζονται σε χαμηλοπερατά, υψηλοπερατά, ζωνοπερατά και ζωνοφρακτικά φίλτρα. Τα φίλτρα αυτά έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος και βάρος, ενώ μπορούν να λειτουργήσουν μόνο σε συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων (μπορούν να κόψουν μόνο συγκεκριμένες αρμονικές). Επιπλέον, εισάγουν αντήχηση στο σύστημα.

Για τους λόγους αυτούς αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια τα ενεργά φίλτρα, τα οποία χρησιμοποιούνται τόσο για την αντιστάθμιση των αρμονικών, όσο και για την αντιστάθμιση του συντελεστή ισχύος.

Τα ενεργά φίλτρα είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγουν αρμονικό ρεύμα ίσο με το αρμονικό ρεύμα του φορτίου. Με τον τρόπο αυτό το AC ρεύμα της πηγής είναι απαλλαγμένο από αρμονικές.

### 5.1 Παθητικά φίλτρα

Το παθητικό φίλτρο είναι ένα είδος ηλεκτρονικού φίλτρου το οποίο είναι κατασκευασμένο αποκλειστικά από παθητικά στοιχεία, σε αντίθεση με τα ενεργά φίλτρα, δεν χρειάζεται εξωτερική τροφοδοσία (πέραν του σήματος) [17]. Μιας και τα περισσότερα φίλτρα είναι γραμμικά στις περισσότερες περιπτώσεις, τα παθητικά φίλτρα συνίστανται από τα τέσσερα βασικά γραμμικά στοιχεία – αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία και μετασχηματιστές. Τα περισσότερο περίπλοκα παθητικά φίλτρα μπορεί να περιλαμβάνουν μη γραμμικά στοιχεία, ή περισσότερο περίπλοκα γραμμικά στοιχεία, όπως γραμμές μεταφοράς.

Ένα παθητικό φίλτρο υπερτερεί του ενεργού με τα εξής πλεονεκτήματα:

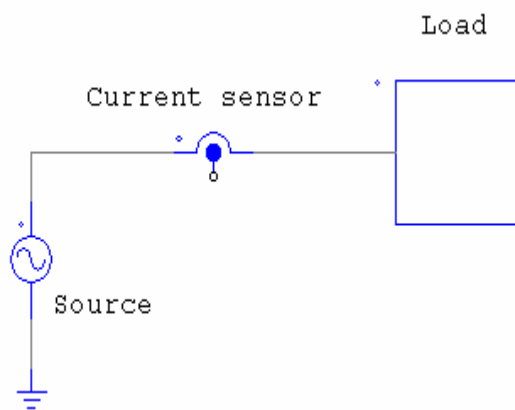
- Εγγυημένη σταθερότητα
- Κλίμακα καλύτερη σε μεγάλα σήματα (δεκάδες Amperes, εκατοντάδες volts), όπου οι ενεργές συσκευές είναι συνήθως μη πρακτικές
- Δεν απαιτείται τροφοδοσία
- Χαμηλό κόστος σε αυθαίρετα σχήματα (εκτός αν χρειαστούν μεγάλα πηνία)
- Υπερτερεί στα γραμμικά φίλτρα ενδεχομένως η μεγαλύτερη γραμμικότητα εξαρτάται από τα στοιχεία που απαιτούνται

Χρησιμοποιούνται ευρέως στα σχέδια ηχείων εναλλαγής (λόγω των σχετικά μεγάλων τάσεων και ρευμάτων, καθώς και λόγω της έλλειψης εύκολης πρόσβασης σε μια πηγή τροφοδοσίας), επίσης χρησιμοποιούνται στα φίλτρα των δικτύων διανομής ρεύματος (λόγω των μεγάλων τάσεων και ρευμάτων), στις παρακάμψεις πηγών τροφοδοσίας (λόγω του χαμηλού κόστους και σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάγκες τροφοδοσίας), καθώς επίσης και σε μια πληθώρα διακριτών και απλών κυκλωμάτων για το σπίτι

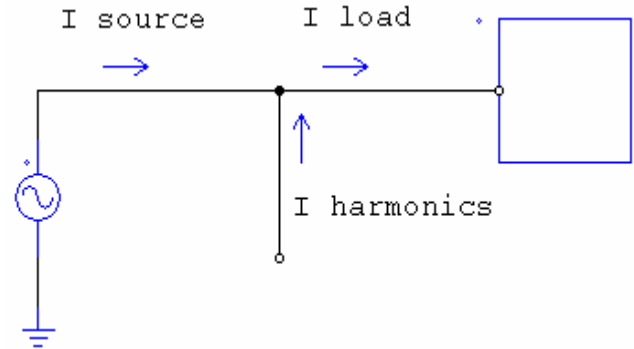
(λόγω χαμηλού κόστους και απλότητας). Τα παθητικά φίλτρα είναι ασυνήθιστα σε σχέδια microchip, όπου οι ενεργές συσκευές είναι φθηνές σε σχέση με τις αντιστάσεις και τους πυκνωτές, ενώ τα πηνία είναι απαγορευτικά ακριβά. Τα παθητικά φίλτρα βρίσκονται ωστόσο σε υβριδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα. Πράγματι, μπορεί να είναι επιθυμητό να ενταχθεί ένα παθητικό φίλτρο ώστε να οδηγήσει το σχεδιαστή να χρησιμοποιήσει το υβριδικό πρότυπο.

### 5.2 Εισαγωγή στον τρόπο λειτουργίας ενός ενεργού φίλτρου.

Η λειτουργία των ενεργών φίλτρων στηρίζεται στην παρακάτω λογική: με μία μετρητική διάταξη μετράμε το ρεύμα γραμμής του φορτίου [16]. Με κάποιο τρόπο απομονώνεται η πρώτη αρμονική του ρεύματος αυτού (Σχ 5.1) και αφαιρώντας την από το ρεύμα της γραμμής, λαμβάνεται η συνολική παραμόρφωση του ρεύματος γραμμής, η οποία αποτελείται από όλες τις αρμονικές πλην τις πρώτης.



Σχ 5.1

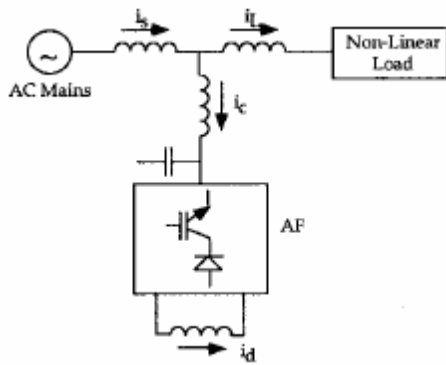


Σχ 5.2

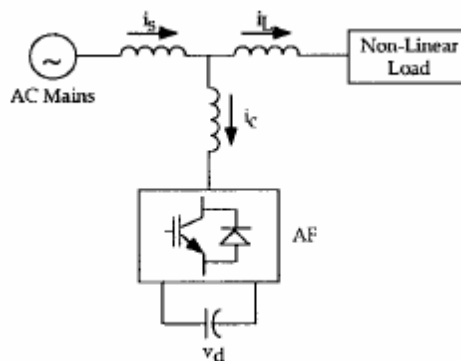
Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας μία διακοπτική διάταξη, η οποία αποτελείται από transistor ή mosfet, το φίλτρο προσπαθεί να δημιουργήσει ένα ρεύμα ίσο με το ρεύμα της παραμόρφωσης. Το ρεύμα αυτό εισάγεται στο κύκλωμά έτσι ώστε να προστίθεται στο ρεύμα της γραμμής. Εφόσον οι αρμονικές του ρεύματος γραμμής είναι ίσες με τις αρμονικές που εισάγει το φίλτρο, είναι φανερό ότι το ρεύμα της γραμμής δε θα περιέχει αρμονικές. (Σχ 5.2)

### 5.3 Ομαδοποίηση των ενεργών φίλτρων

Αρχικά τα ενεργά φίλτρα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, με βάση το μέσο αποθήκευσης DC ενέργειας: τα φίλτρα πηγής ρεύματος (current source active filters) (Σχ.5.3) και τα φίλτρα πηγής τάσης (voltage source active filters) (Σχ.5.4) [16].

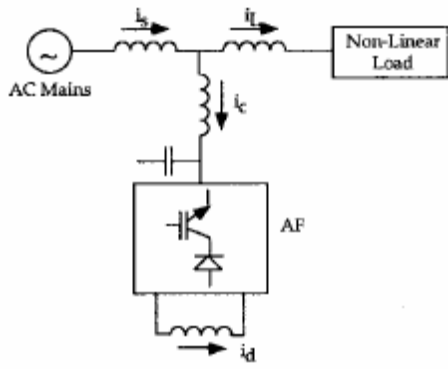


Σχήμα 5.3

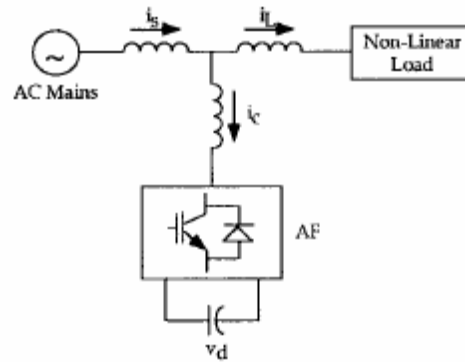


Σχήμα 5.4

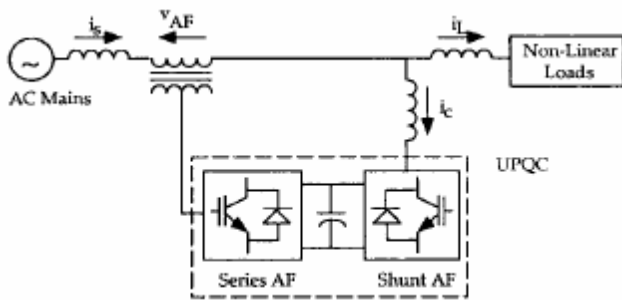
Σε ότι αφορά την τοπολογία τους, τα φίλτρα μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες: παράλληλα φίλτρα (Σχ 5.5), φίλτρα σε σειρά (Σχ 5.6), unified power quality conditioners (Σχ 5.7) και υβριδικά φίλτρα (Σχ 5.8). Ευρέως χρησιμοποιούνται επίσης και τα shunt filters.



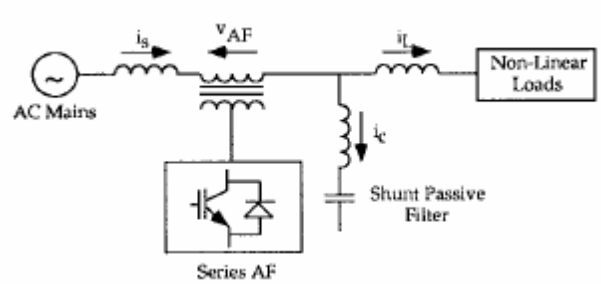
Σχήμα 5.5



Σχήμα 5.6



Σχήμα 5.7



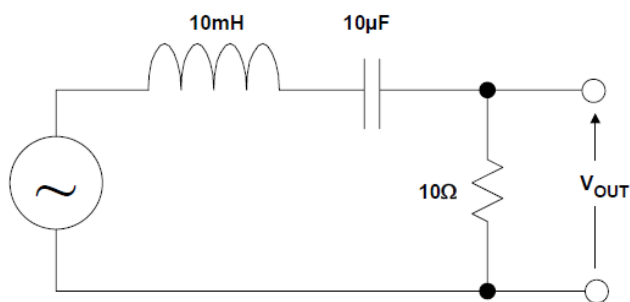
Σχήμα 5.8

## ΣΤ. ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στο πέμπτο μέρος μελετήσαμε βασικές κατηγορίες φίλτρων έτσι ώστε να έχουμε την επιθυμητή τάση στην έξοδο του κυκλώματος προς τροφοδοσία των απαιτούμενων διατάξεων. Ας εξετάσουμε τι συμβαίνει στο μιγαδικό επίπεδο  $s$  σε ένα RLC κύκλωμα που είναι ευρύτατα διαδεδομένο σε αρκετά κυκλώματα φίλτρων [18].

### 1. ΤΟ RLC ΚΥΚΛΩΜΑ

Ας υποθέσουμε πως έχουμε ένα RLC κύκλωμα με τα χαρακτηριστικά του παρακάτω σχήματος



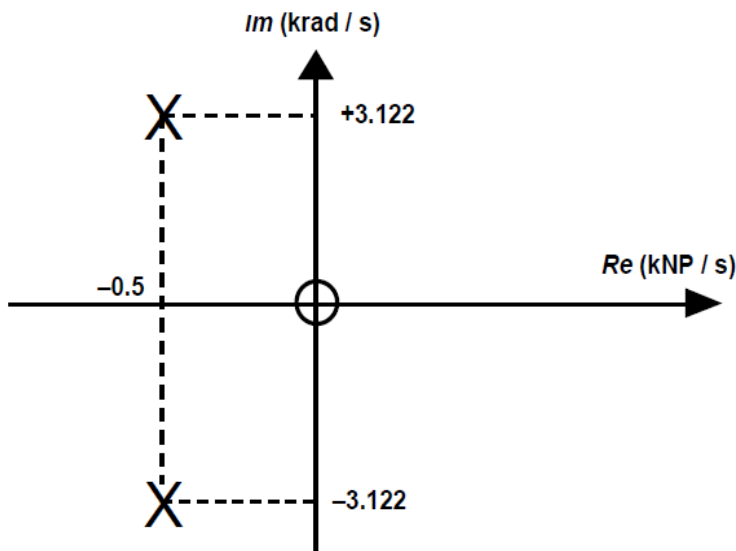
σχήμα 1.1 Τυπική διάταξη RLC κυκλώματος

Γνωρίζουμε πως βάζοντας στις εξισώσεις τα παραπάνω μεγέθη προκύπτει:

$$H(s) = 10^3 \times \frac{s}{s^2 + 10^3s + 10^7}$$

επιλύοντας στο  $s$  επίπεδο τελικά έχουμε:

$$H(s) = 10^3 \times \frac{s}{[s - (-0.5 + j 3.122) \times 10^3] \times [s - (-0.5 - j 3.122) \times 10^3]}$$



Όπου προκύπτουν οι ρίζες:

$$s = (-0.5 \pm j3.122) \times 10^3$$

Ενώ όλη αυτή διαδικασία έχει ένα ιδιαίτερο μαθηματικό ενδιαφέρον και εγκυρότητα στο μιγαδικό επίπεδο, οι περισσότεροι μηχανικοί δεν σκεφτόμαστε στο  $s$  επίπεδο και δε δουλεύουμε με φανταστικές συχνότητες. Προκειμένου να δουλέψουμε με συχνότητες και μεγέθη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πραγματικότητα θα θέσουμε σε εφαρμογή δύο μεγέθη το  $F_0$  και  $Q$ .

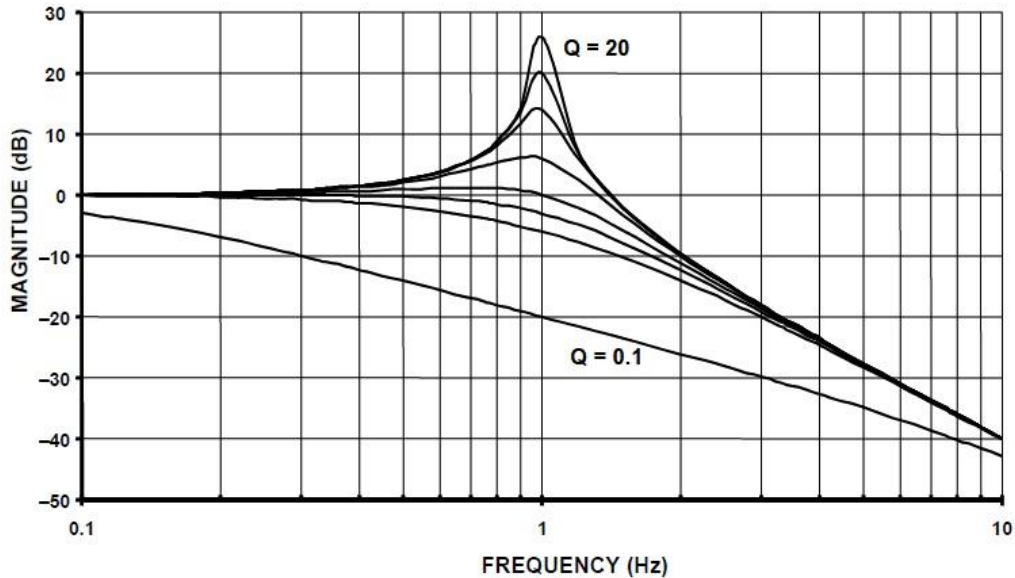
## 2. $F_0$ ΚΑΙ $Q$

Για να αποφεύγουμε να δουλεύουμε στο πεδίο  $s$  θα χρησιμοποιήσουμε δύο πρακτικότερες έννοιες το  $F_0$  και  $Q$  [18].

Το  $F_0$  είναι η συχνότητα αποκοπής του φίλτρου η οποία καθορίζεται ως η συχνότητα η οποία η απόκρισή της είναι 3 db κάτω από τη ζώνη διάβασης. Ορισμένες φορές μπορεί να καθοριστεί ως η συχνότητα η οποία θα βρεθεί εκτός της ζώνης διάβασης. Για παράδειγμα ένα 0,1 db chebysehev φίλτρο μπορεί να έχει την  $F_0$  του στην συχνότητα όπου η απόκριση της είναι κάτω μεγαλύτερη από 0,1 db

Το σχήμα της καμπύλης απόσβεσης (καθώς και η φάση και οι καμπύλες καθυστέρησης όπου καθορίζεται το χρονικό πεδίο ορισμού απόκρισης του φίλτρου) θα είναι το ίδιο αν η αναλογία της πραγματικής συχνότητας ως προς την συχνότητα αποκοπής εξεταστεί, παρά η καθεαυτή πραγματική συχνότητα. Αν πραγματοποιήσουμε κανονικοποίηση στο φίλτρο της τάξης του 1 rad/s, μπορεί να αναπτυχθεί ένα απλό σύστημα σχεδίασης και σύγκρισης φίλτρων. Το φίλτρο τότε κλιμακώνεται από τη συχνότητα αποκοπής ώστε να προκύψουν οι αξίες των στοιχείων του πραγματικού φίλτρου.

Q είναι ο παράγοντας ποιότητας του φίλτρου. Ορισμένες φορές ορίζεται ως  $\alpha$  όπου  $\alpha=1/Q$  και είναι ευρέως γνωστό ως αναλογία απόσβεσης. Το  $\xi$  χρησιμοποιείται ορισμένες φορές ως  $\xi=2\alpha$ . Αν το Q είναι μεγαλύτερο από 0,707 θα υπάρξει μια κορύφωση στην απόκριση του φίλτρου. Αν το Q είναι μικρότερο από 0,707 η κατωφέρεια της  $F_0$  θα είναι μεγαλύτερη. Θα έχει μια πιο ήπια πτώση και θα ξεκινάει νωρίτερα. Το ποσό κορύφωσης για ένα χαμηλοπερατό φίλτρο 2 πόλων έναντι του Q φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



σχήμα2.1 Κορύφωση χαμηλοπερατού φίλτρου έναντι Q

Αν ξαναγράψουμε τη συνάρτηση μεταφοράς  $H(s)$  με όρους  $\omega_0$  και Q έχουμε:

$$H(s) = \frac{H_0}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

όπου  $H_0$  είναι το κέρδος ζώνης διάβασης και  $\omega_0 = 2\pi F_0$ . Αυτό είναι το χαμηλοπερατό πρωτότυπο που θα χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό φίλτρων.



## 2.1 Ζωνοδιαβατά φίλτρα.

Αλλάζοντας τον αριθμητή του χαμηλοπερατού πρωτότυπου σε  $H_0\omega_0^2$  το φίλτρο θα μετατραπεί σε ζωνοδιαβατό [18]. Η συνάρτηση μεταφοράς θα είναι:

$$H(s) = \frac{H_0\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2}$$

Το  $\omega_0$  εδώ είναι η συχνότητα ( $F_0=2\pi\omega_0$ ) όπου το κέρδος του φίλτρου κορυφώνεται.

$H_0$  είναι το κέρδος του κυκλώματος και ορίζεται ως:

$$H_0=H/Q$$

Το  $Q$  έχει μια ιδιαίτερη σημασία για την απόκριση της ζώνης διάβασης. Είναι η εκλεκτικότητα του φίλτρου και ορίζεται ως:

$$Q = \frac{F_0}{F_H - F_L}$$

Όπου  $F_L$  και  $F_H$  είναι οι συχνότητες όπου η απόκριση είναι -3 db της μέγιστης.

Η ζώνη διάβασης του φίλτρου περιγράφεται ως εξής:

Αποδεικνύεται πως η συντονιζόμενη συχνότητα  $F_0$  είναι η γεωμετρική διαφορά του  $F_L$  και  $F_H$ .

$$BW=F_H-F_L$$

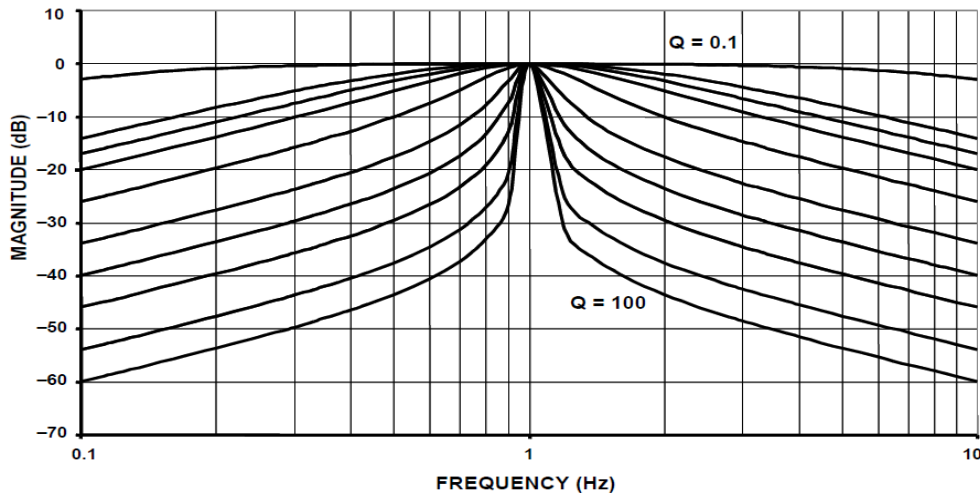
το οποίο σημαίνει πως η συχνότητα  $F_0$  εμφανίζεται μεταξύ του  $F_L$  και  $F_H$  σε λογαριθμική κλίμακα.

$$F_0 = \sqrt{F_H F_L}$$

Σημειώνεται επίσης πως η ζώνη μετάβασης (απόκρυμνες γραμμές) της ζώνης διάβασης θα είναι πάντα συμμετρικές γύρω από την  $F_0$  σε λογαριθμική κλίμακα. Η απόκριση της ζώνης διάβασης σε διάφορες τιμές του  $Q$  δείχνονται στο παρακάτω σχήμα.

Προσοχή χρειάζεται εδώ. Τα ζωνοδιαβατά φίλτρα μπορούν να προσδιοριστούν με δύο τρόπους. Η ευρειζωνική περίπτωση είναι η κλασσική διασαφήνιση που δείξαμε προηγουμένως.

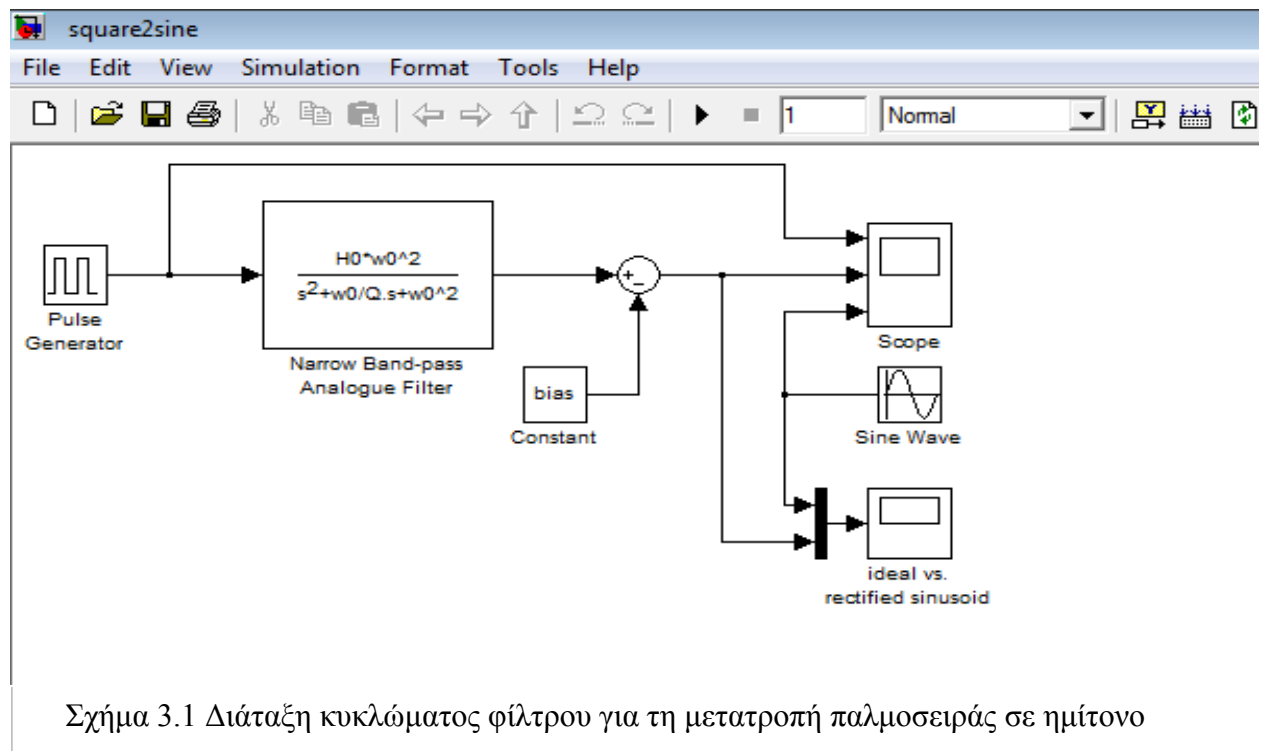
Σε μερικές περιπτώσεις ωστόσο, εάν οι υψηλές και χαμηλές συχνότητες αποκοπής διαχωριστούν ευρέως, το ζωνοδιαβατό φίλτρο κατασκευάζεται από ξεχωριστούς υψηλοπερατούς και χαμηλοπερατούς τομείς. Ο ευρής διαχωρισμός σε αυτό το πλαίσιο σημαίνει διαχωρισμός τουλάχιστον κατά 2 οκτάβες (x4 σε συχνότητα). Αυτή είναι η ευρυζωνική περίπτωση.



Σχήμα 2.2. Κορύφωση ζωνοδιαβατού φίλτρου ως προς το Q.

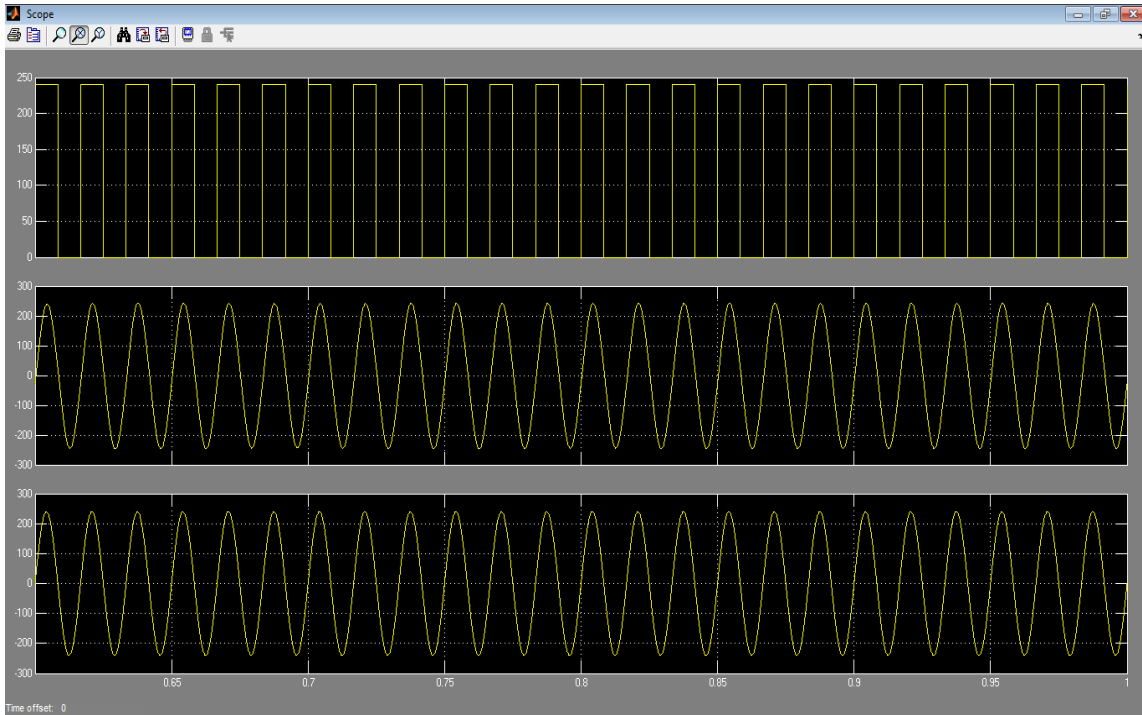
### 3. ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ MATLAB

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό εξομοίωσης Matlab πραγματοποιούμε την παρακάτω διάταξη:

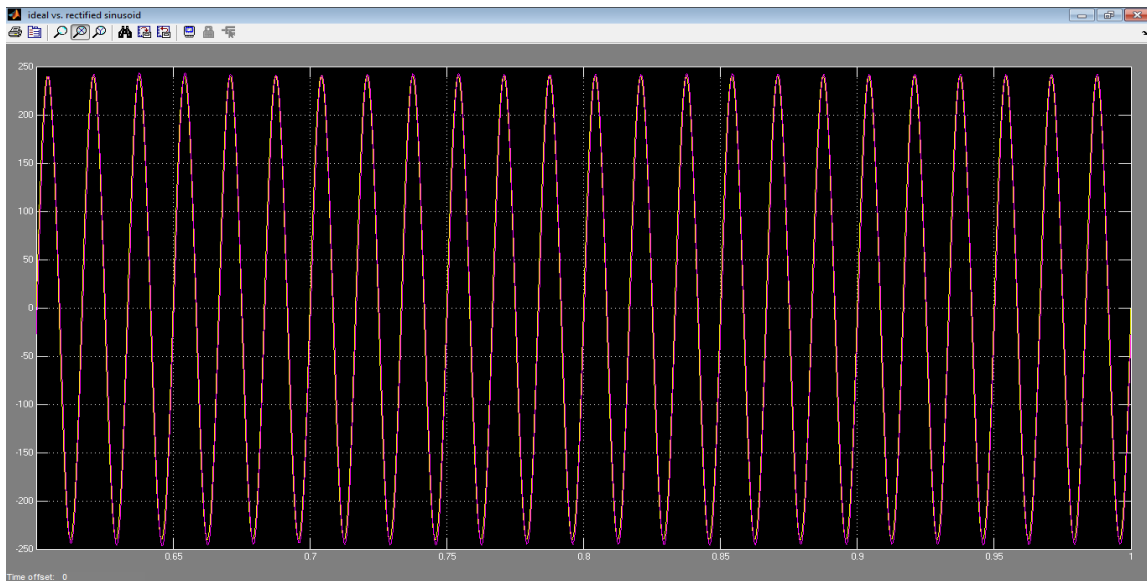


Σχήμα 3.1 Διάταξη κυκλώματος φίλτρου για τη μετατροπή παλμοσειράς σε ημίτονο

Παρατηρούμε στο παραπάνω κύκλωμα μια γεννήτρια παλμοσειράς (pulse generator) η οποία μέσω του Scope φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (σχήμα 3.2) πρώτη. Οι παράμετροί της είναι ότι η συχνότητά της είναι στα 60 Hz με πλάτος στα 240 V. Ακολούθως η παλμοσειρά εισάγεται στο φίλτρο με εξίσωση, που σύμφωνα με τα παραπάνω είναι:  $H(s) = H_0 \omega_0^2 / (s^2 + \omega_0 s / Q + \omega_0^2)$ . Ύστερα αφαιρούμε με τη βοήθεια της διάταξης bias (αντιστάθμιση σήματος πόλωσης) το DC περιεχόμενο που έχει απομείνει στο σήμα μας μετά τη διέλευση από το φίλτρο.



Σχήμα 3.2 Σύγκριση παλμοσειράς μεταξύ ιδανικού ημιτόνου και του ημιτόνου που προκύπτει από την μετατροπή αυτής.



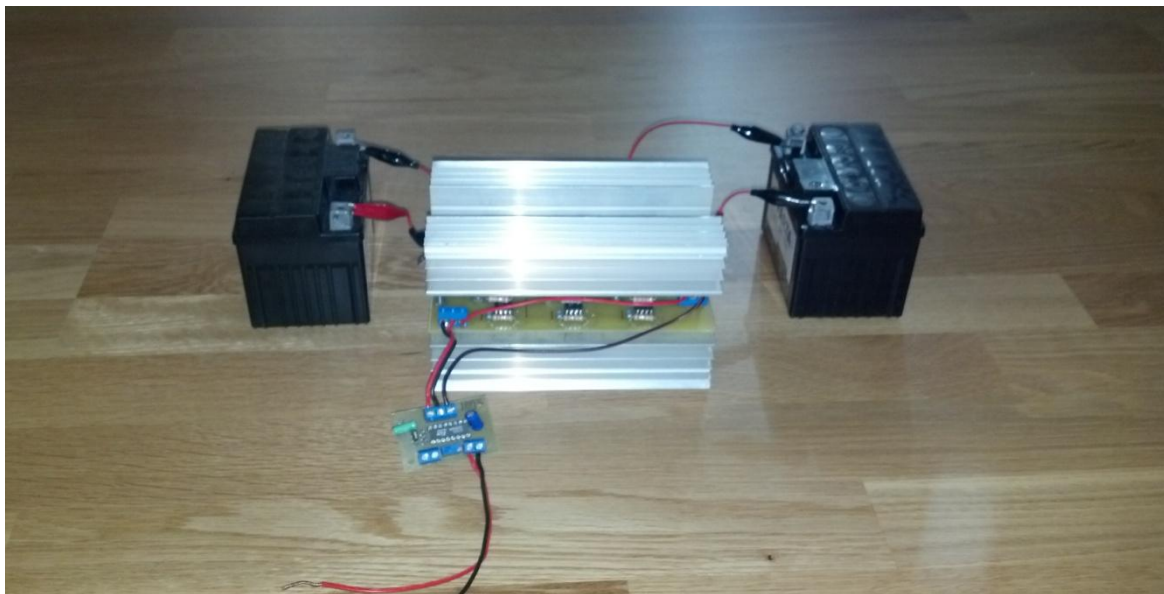
Σχήμα 3.3 Σύγκριση μεταξύ ιδανικού ημιτόνου και του ημιτόνου που προκύπτει μετά τη διέλευση της παλμοσειράς από το φίλτρο

Όπως φαίνεται στη συνέχεια από τα γραφήματα (σχήμα 3.2 και 3.3) το ημίτονο που προέκυψε από τη μετατροπή της παλμοσειράς και τη διέλευση μέσα από το φίλτρο, πλησιάζει αρκετά το ιδανικό ημίτονο τροφοδοσίας (60 Hz και 240 V), έτσι η παραγόμενη τάση μας καλύπτει για την τροφοδότηση μιας οικίας αφού είναι σχεδόν το ίδιο με το ρεύμα που μας τροφοδοτείται από το δίκτυο.

#### 4.ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

Όπως είδαμε στο τέταρτο μέρος της μελέτης μας (Βλ. Κεφ.Δ σχ 3.2) μπορεί να πραγματοποιηθεί η φόρτιση δύο συστοιχιών διαδοχικά με τη χρήση ηλεκτρονικών ισχύος. Στην παρακάτω φωτογραφία βλέπουμε ένα μέρος της τελικής υλοποίησης της διάταξης μας και η συγκεκριμένη κατασκευή βρίσκεται υπο την διαδικασία της κατοχύρωσης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Συγκεκριμένα διακρίνουμε τις δύο συστοιχίες δεξιά και αριστερά της διάταξης η οποία βρίσκεται μέσα σε ένα κέλυφος αλουμινίου η οποία περιέχει τα ηλεκτρονικά ισχύος τα οποία φορτίζουν διαδοχικά τους δύο συσσωρευτές όταν ο ένας εκ των οποίων τροφοδοτεί, ενώ ο άλλος βρίσκεται σε φόρτιση με σκοπό την εναλλαγή μεταξύ των δύο καταστάσεων.



Εικόνα 1. Διαδοχική φόρτιση συστοιχιών με χρήση ηλεκτρονικών ισχύος.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Επιτακτική η χρήση των Α.Π.Ε.

Οι Α.Π.Ε. μιας και είναι διαθέσιμες κάθε έτος (Βλ. Κεφ.Α5) σε σχέση με τις μη ανανεώσιμες που κάποια στιγμή θα εξαλειφθούν, οδηγούν όλο και περισσότερους υποστηρικτές στο χώρο της ενεργειακής κάλυψης. Ο πλανήτης μας έχει πεπερασμένα αποθέματα καύσιμων υλών και αρκετές συνέπειες μόλυνσης στο περιβάλλον μας, φέρνοντας τις Α.Π.Ε. σήμερα στο προσκήνιο. Ακόμα και εάν κάποιοι ισχυρίζονται πως οι ανανεώσιμες πηγές δεν αρκούν να καλύψουν τις ενεργειακές μας ανάγκες λόγω χαμηλής παραγωγής ενέργειας, σήμερα μπορούμε με απλούς τρόπους να πετύχουμε τη συνεργασία δύο ή περισσότερων Α.Π.Ε. για την απαιτούμενη τροφοδότηση μιας οικίας ή ακόμα και μιας μεγαλύτερης εγκατάστασης (Βλ. Κεφ.Γ1).

### 5.2 Συσσώρευση της παραγόμενης ενέργειας

Η συσσώρευση της ενέργειας είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στον χώρο της παραγωγής αυτής. Με τη συνεργασία όμως δύο ή περισσότερων συστοιχιών (Βλ. Κεφ.Γ3 & Κεφ.Δ.) επιτυγχάνουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα της αποθήκευσης ενέργειας καθώς και της επαρκούς τελικής τροφοδοσίας μιας οικίας.

### 5.3 Χρήση της παραγόμενης ενέργειας

Η χρήση της DC παραγόμενης ενέργειας (αποθηκευμένη στους συσσωρευτές) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσια για την τροφοδότηση μιας οικίας εφόσον χρησιμοποιούμε εναλλασσόμενο ρεύμα για τις συσκευές μας. Συνεπώς έχουμε τους συμβατικούς τρόπους της συνεργασίας ηλεκτροκινητήρα και ηλεκτρογεννήτριας ή ακόμα με μεγαλύτερο κόστος τους αναστροφείς (inverters) (Βλ. Κεφ.Ε).

Η μελέτη μας έδειξε πως η οικονομικότερη λύση και ενδεχομένως μικρότερου όγκου είναι τα φίλτρα. (Βλ. Κεφ.Ε5 & Κεφ.ΣΤ). Με αυτήν την απλή λύση έχουμε στα χέρια μας τον οικονομικότερο τρόπο να εξασφαλίσουμε μέσω οποιασδήποτε Α.Π.Ε, την αδιάλειπτη τροφοδοσία μιας οικίας με το απαιτούμενο εναλλασσόμενο ρεύμα καλύπτοντας έτσι τις ενεργειακές ανάγκες μιας σύγχρονης οικογένειας.

# Παράρτημα

- [1] [www.dei.gr](http://www.dei.gr)
- [2] [http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρική\\_ενέργεια](http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρική_ενέργεια)
- [3] <http://sfrang.com/historia/selida604.htm#1> (Ιστορία της τεχνολογίας Στυλ.Γ. Φραγκόπουλος)
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_energy\\_resources\\_and\\_consumption](http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_resources_and_consumption)
- [5] «Λειτουργία και τεχνικοοικονομική μελέτη ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος» (Παπαδημητράκης Αλέξανδρος)
- [6] The Pyramidal Electric Transducer: A DC to RF Converter for the Capture of Atmospheric Electrostatic Energy. (Peter Grandics)
- [7] Αιολική ενέργεια - Σχεδιάζοντας στις αυλές των ανέμων Δρ.Δημήτρης Β. Κανελλόπουλος
- [8] <http://www.041.gr/Battery.htm>  
(«Μπαταρία η γνωστή μας άγνωστη» Τάσος Πορτοκάλου Διπλ.Ηλεκτρονικός Ηλεκτρολόγος Μηχανικός)
- [9] <http://www.ortsa.gr/>( Μπαταρίες Σύνδεση παράλληλη ή εν σειρά; Ιάσοντας Θαλασσινός)
- [10] <http://www.solarpowernotes.com/renewable-energy/what-is-hybrid-renewable-energy.html>
- [11] [http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικός\\_κινητήρας](http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικός_κινητήρας)
- [12] <http://el.wikipedia.org/wiki/Γεννήτρια>
- [13] <http://el.wikipedia.org/wiki/Αναστροφέας>
- [14] [http://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_inverter](http://en.wikipedia.org/wiki/Power_inverter)
- [15] Μεταγωγικός διακόπτης γεννήτριας (ATS) με ελεγκτή (ATS-ST)( Μηχ. Χριστοδούλου Γ.)
- [16] Σχεδίαση ενός ενεργού φίλτρου, με στόχο την εξάλειψη των αρμονικών ρεύματος του δικτύου(Σβάρνα Κωνσταντίνα, Παρασκευάς Σέληνας)
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/Passivity\\_\(engineering\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Passivity_(engineering))
- [18] [http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/43-09/edch\\_8\\_filter.pdf](http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/43-09/edch_8_filter.pdf)