



ΑΤΕΙ Πάτρας-ΣΤΕΦ Τμήμα Ηλεκτρολογίας

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Αριθμός 1283

# ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ(ΕΣ):  
ΔΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΣΤΑΥΛΙΩΤΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Α.Μ:  
5736  
5778

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:  
ΝΤΑΛΑΠΕΡΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ



## ΠΑΤΡΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013

### Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας κύριο Γεώργιο Νταλαπέρα κυρίως για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του, για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Θα θελαμε επίσης να απευθύνουμε τις ευχαριστίες μας στους γονείς μας, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μας με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μας.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ζούμε μια περίοδο όπου η διόγκωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων κάνουν πλέον εφικτή την χρήση τους. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν μπει για τα καλά στη ζωή μας προσφέροντας μας ηλεκτρική ενέργεια και οικονομική από μια αστείρευτη πηγή ενέργειας, τον Ήλιο. Η ανάγκη για την παραγωγή φτηνής ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται όλο και μεγαλύτερη και ταυτόχρονα με την ανάγκη αυτή αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες, ή εξελίσσονται οι ήδη υπάρχουσες, με γοργούς ρυθμούς ώστε να ικανοποιήσει τις υπάρχουσες ανάγκες για παραγωγή και ζήτηση. Παρολη την προσπάθεια για την αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, το ίδιο το περιβάλλον στο οποίο ζούμε γίνεται εχθρός τους μειώνοντας τον παράγοντα απόδοση αφού τα αιωρούμενα σωματίδια και η σκόνη κυρίως κατακάθονται στα φωτοβολταϊκά πάνελ μειώνοντας την απόδοση τους. Μέθοδος για την προφύλαξη των φωτοβολταϊκών πάνελ από την κατακάθιση της σκόνης δεν υπάρχει παρά μόνο ο συχνός καθαρισμός τους που γίνεται κυρίως με χειρωνακτικά μέσα. Η ανάγκη για τον καθαρισμό των φωτοβολταϊκών πάνελ μας έκανε να δημιουργήσουμε ένα αυτοματοποιημένο μηχάνημα το οποίο τοποθετείται πάνω στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες και με το πάτημα ενός κουμπιού θα κινείται κατα μήκος της εγκατάστασης και με τη χρήση κυλινδρικών βουρτσών θα καθαρίζει αποτελεσματικά αυξάνοντας την απόδοση κατά 20% έως και 25%. Το μηχάνημα αυτό είναι κατασκευασμένο με ηλεκτρονόμους ορθά συνδεδεμένους, ούτως ώστε να πραγματοποιεί τον συγκεκριμένο καθαρισμό, θέτοντας σε λειτουργία κάθε φορά τα μοτέρ για τις προκαθορισμένες τους εργασίες.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατασκευή που θα δημιουργήσουμε, περιγράψουμε και παραθέσουμε παρακάτω είναι ένα σύστημα καθαρισμού φωτοβολταϊκών πάνελ. Ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για την απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης αποδεικνύεται η καθαριότητα του φωτοβολταϊκού, όπου ο καθαρισμός των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων μας επιτρέπει να παράγουμε περισσότερη ενέργεια και έτσι να έχουμε αύξηση των εσόδων.

Η κατασκευή μας θα τοποθετείται εύκολα στο φωτοβολταϊκό πάνελ και με το πάτημα ενός μπουτόν, θα έχουμε την έναρξη της διαδικασίας καθαρισμού. Η κατασκευή αποτελείται από δυο περιστρεφόμενες βούρτσες και ένα σκελετό στήριξης, με τον μηχανισμό του οποίου επιτυγχάνεται την καθορισμένη κίνηση του καθαριστικού πανώ στο φωτοβολταϊκό πάνελ. Η κίνηση αυτή επιτυγχάνεται μέσω τριών μηχανών συνεχούς ρεύματος για να έχουμε ορθή και ανάστροφη κίνηση. Ο συγχρονισμός των έξι αυτών κινήσεων που θα γίνεται μέσω ηλεκτρονόμων συνεχούς ρεύματος θα μας δίνει μια αυτοματοποιημένη συσκευή καθαρισμού φωτοβολταϊκών πάνελ. Με την προσθήκη ενός διακόπτη τριών θέσεων θα έχουμε την επιλογή αυτόματου και χειροκίνητου ελέγχου της κατασκευής και έτσι θα έχουμε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου μέσω απλών ηλεκτρονόμων. Η κατασκευή θα τοποθετείται πάνω στο πάνελ και με τη χρήση τερματικών θα αντιλαμβάνεται που θα τελειώνει η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού που θα καθαρίζεται. Η τροφοδότηση όλων αυτών των μηχανών θα γίνεται μέσω τροφοδοτικού 230 VAC/ 12 VDC. Ο καθαρισμός των φωτοβολταϊκών είναι συνήθως δύσκολο εγχείρημα οπότε με την κατασκευή αυτή διευκολύνουμε τον κλάδο της καθαριότητας και ενυψύουμε τον παράγοντα εξοικονόμησης ενέργειας.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### Contents

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	iii
ΚΥΡΙΩΣ ΚΕΙΜΕΝΟ .....	1
1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	1
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	3
1.2 ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΗΝ ΖΩΗ ΜΑΣ .....	4
1.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ .....	6
1.4 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ .....	11
1.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	13
2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ .....	16
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	17
2.2 ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ .....	25
3 ΓΡΑΝΑΖΙΑ .....	32
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	32
3.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΓΡΑΝΑΖΙΑ .....	34
3.3. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΓΡΑΝΑΖΙΑ ΚΑΙ ΑΛΥΣΙΔΑ .....	36
4. ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ .....	38
4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	40
4.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ .....	45
4.3. ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΩΣ ΑΡΧΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ .....	48
5. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΜΑΣ .....	61



6. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΜΑΣ .....	74
7. ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ .....	79
8. ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΓΙΝΟΝΤΑΙ Σ.Α.Ε .....	84
8.1. ΟΙ ΩΦΕΛΕΙΕΣ ΠΟΥ ΑΠΟΡΕΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΑΣ .....	86

## ΚΥΡΙΩΣ ΚΕΙΜΕΝΟ

### 1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλιακή ενέργεια ορίζεται ως ένας κύριος παράγοντας για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη μας και αποσαφηνίζεται ως το σύνολο των διάφορων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορα είδη ακτινοβολίας. Αρχικά τα φυτά, για τη φωτοσύνθεση χρειάζονται ηλιακό φως, στην συνέχεια τα φυτά τρέφουν τα φυτοφάγα ζώα, τα οποία με την σειρά τους τρέφουν τα σαρκοφάγα ζώα, άρα η ζωή στον πλανήτη μας εξαρτάται από τον Ήλιο.

Ο άνθρωπος εκμεταλεύεται την ηλιακή ενέργεια με ποικίλους τρόπους. Έχοντας ως δεδομένο ότι η ηλιακή ενέργεια μας δίνει φως, θερμαίνει αντικείμενα στα οποία προσπίπτει και αλλάζει τις ιδιότητες των ημιαγωγών παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, ο άνθρωπος χώρισε τον τρόπο εκμετάλλευσης της σε τρεις κατηγορίες (<http://www.tmltd.gr/solar/solar-energy.htm>, <http://1gym-ag-parask.att.sch.gr/environment/iliako/energy/iliaki/index.htm>). Οι κατηγορίες αυτές είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπως αυτό αναπαριστάται στο Σχήμα 1.

**Σχήμα 1:** Κατηγορίες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας



Πηγή:

[[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE\\_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1)].

#### Παθητικά ηλιακά συστήματα



Τα παθητικά ηλιακά συστήματα υπάρχουν ουσιαστικά για να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για την ρύθμιση θερμοκρασίας μέσα σε αυτά. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους. Τέλος τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν την αρχή της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής και μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους κτιρίων.

### **Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα**

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι πολύ διαδεδομένα στις μέρες μας, για παράδειγμα η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή τέτοιου συστήματος είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας, ο οποίος απορροφά την ηλιακή ενέργεια και στην συνέχεια, την μεταφέρει με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό, όπως το νερό για παράδειγμα. Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών, σκουρόχρωμων δηλαδή επιφανειών (καλά) διαρκώς προσανατολισμένων στον ήλιο, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με νερό και του μεταδίδουν μέρος της θερμότητας που παρέλαβαν. Τέλος το παραγόμενο αυτό ζεστό νερό χρησιμοποιείται για απλή οικιακή ή πιο σύνθετη βιομηχανική χρήση, αν και τελευταία τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για την θέρμανση χώρων μέσω κατάλληλων διατάξεων.

### **Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

Τα φωτοβολταϊκά στις μέρες μας είναι μια επανάσταση, μπορούμε να τα συναντήσουμε σε μικρούς υπολογιστές και ρολόγια. Χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, όπου αξιοποιούνται (χρησιμοποιούνται) για την ηλεκτροδότηση μη διασυνδεδεμένων στο δίκτυο καταναλώσεων, εδώ και πολλά χρόνια. Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται κυρίως για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων σπιτιών, δορυφόρων και φάρων. Η Ελλάδα έχοντας ως μεγάλο πλεονέκτημα την ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακή ενέργεια, έχει την προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής φωτοβολταϊκών συστημάτων σε μεγάλη κλίμακα. Επίσης οι διατάξεις αυτές έχουν τη δυνατότητα να παράγουν την μέγιστη ισχύ κατά την διάρκεια της ημέρας, όπου έχουμε και την μεγαλύτερη ζήτηση.

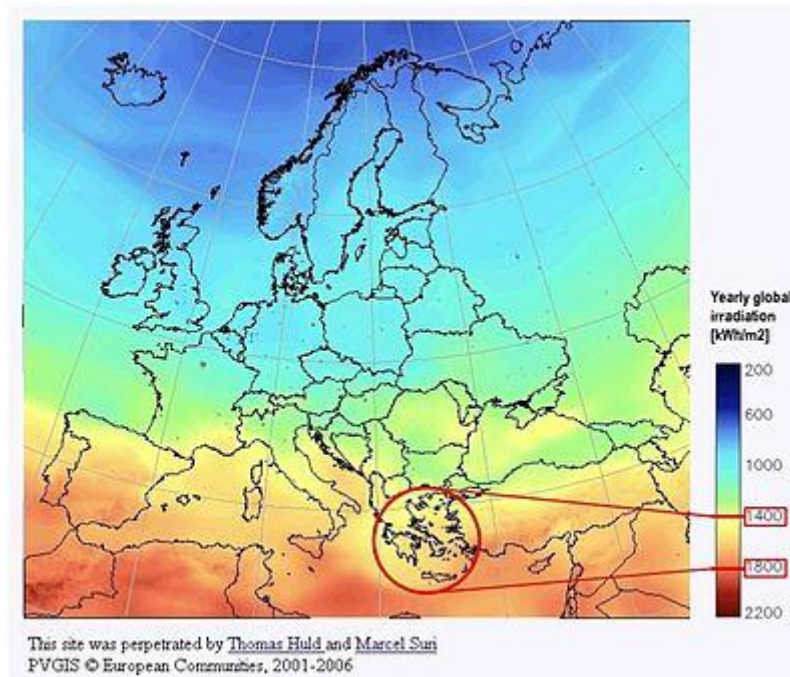
Τέλος ανάλογα με την χρήση του παραγόμενου ρεύματος, τα Φ/Β κατατάσσονται σε:

- Αυτόνομα συστήματα, όπου η παραγόμενη ενέργεια καταναλώνεται επιτόπου και εξολοκλήρου από την παραγωγή στην κατανάλωση.
- Διασυνδεδεμένα συστήματα, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο, για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί κάπου αλλού.

[<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=286>].

Η θέση μιας χώρας σε σχέση με τον Ισημερινό καθώς και οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις κλιματολογικές της συνθήκες μας βοηθούν να ερμηνεύσουμε την ποσότητα ηλιακής ενέργειας δέχεται. Στο Σχήμα 2 που ακολουθεί βλέπουμε για πιο λόγο η Ελλάδα έχει τόσο μεγάλη ηλιακή ακτινοβολία

**Σχήμα 3:** Η θέση της Ελλάδας στη γήινη σφαίρα και η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται



Πηγή: ( <http://www.vasileiadis.eu/iiiiiiiiii/index.html> )

## 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

### Ιστορία της ανακάλυψης του φωτοβολταϊκού φαινομένου

Η πρώτη ανακάλυψη του φωτοβολταϊκού φαινομένου από τον άνθρωπο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820-1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.



Edmond Becquerel

Το επόμενο σημαντικό βήμα στο πεδίο των φωτοβολταϊκών έγινε το 1876 όταν οι Adams (1836 - 1915) και ο φοιτητής του Day παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.





W. Grylls Adams, F.R.S.

### Adams

Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885-1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα.



### Czochralski

Αξίζει να καταγραφεί η άποψη για τους Mott και Schottky: «Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι Mott και Schottky ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει. Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Chapin, Fuller και Pearson. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.» ( <http://www.selasenergy.gr/history.php>)

### Ορολογία

Ο Όρος φωτοβολταϊκό χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1890 έχοντας ως συνθετικά τις λέξεις: Photo (από την ελληνική λέξη φως) και Volt, η οποία συνδέεται με τον πρωτοπόρο στην ανάπτυξη του ηλεκτρισμού Alessandro Volta.

## 1.2 ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΗΝ ΖΩΗ ΜΑΣ



Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σπίτια και πολυκατοικίες, εθεωρείτο κάτι «ξένο» για τον μέσο Έλληνα και έτσι τόσο καιρό δεν υπήρξε άμεση εκμετάλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Σιγά σιγά όμως τα φωτοβολταϊκά και ως έννοια και ως πραγματικότητα έχει μπει και συνεχίζει και μπαίνει όλο και πιο πολύ στην ζωή μας εδώ στην Ελλάδα. Αυτό συμβαίνει διότι αφενώς μεν δίνει λύση στο πρόβλημα της ακρίβειας σε περίοδο οικονομικής κρίσης, αφετέρου καθιστά τον καταναλωτή παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, η Ολομέλεια του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου έχει ψηφίσει Οδηγία για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα των Κτιρίων, η οποία καθιστά σαφές ότι όλα τα νέα κτίρια πρέπει να έχουν σχεδόν μηδενικό ισοζύγιο ενέργειας, που σημαίνει πως όση ενέργεια καταναλώνουν θα πρέπει και να παράγουν τα ίδια τα κτίρια, και αυτό έως τις 31 Δεκεμβρίου 2020. Όπως γίνεται αντιληπτό με το ψήφισμα αυτό η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι πλέον απαραίτητη. Για να προχωρήσει άμεσα η υλοποίηση των εν λόγω εγκαταστάσεων, το Υπουργείο Περιβάλλοντος έχει δρομολογήσει επιταγυνοσμένες διαδικασίες για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτήρια εντός και εκτός σχεδίου, ούτος ώστε να υπάρξει μιά διευκόλυνση στους μικρούς επενδυτές και, ταυτόχρονα, ένας περιορισμός της γραφειοκρατίας.

Πλέον ο ενδιαφερόμενος μπορεί να προχωρήσει στην αγορά και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, έχοντας ετήσιο εισόδημα μέχρι και 7.500 ευρώ για 25 χρόνια, απλά τοποθετώντας τα συστήματα στην ταράτσα ή στην στέγη του σπιτιού του. Αναφέρεται από ειδικούς στο θέμα (Μιγιάκης, 2011) ότι:

«Σε αυτό τον διευκολύνουν οι τράπεζες, οι οποίες χορηγούν δάνεια για φωτοβολταϊκά, είτε με προσημείωση του ακινήτου είτε με εκχώρηση της σύμβασης, που υπογράφει ο κάτοχος του φωτοβολταϊκού συστήματος με τη ΔΕΗ. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα από τις τράπεζες:



- Χρηματοδότησης έως 100% του κόστους αγοράς και εγκατάστασης.
- Αποπληρωμής, που η διάρκειά της μπορεί να φτάσει έως και τα 25 χρόνια.
- Επιλογής σταθερού ή κυμαινόμενου επιτοκίου.

Αφορά ιδιώτες οι οποίοι διαθέτουν κατοικία που πληροί τις βασικές προϋποθέσεις εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων στη στέγη της, με συνολική ισχύ μέχρι 10 kW. Παράλληλα, ανάλογα με την περιοχή διαμονής, μπορεί να εξασφαλιστεί η μέγιστη απόδοση παραγωγής ενέργειας, άρα και το μέγιστο δυνατό οικονομικό όφελος, πουλώντας στη ΔΕΗ όλη την ενέργεια που θα παράγεται.

Η εγκατάσταση γίνεται στο δάμα ή στη στέγη της κατοικίας. Εάν πρόκειται για κοινόχρηστο χώρο, επιτρέπεται η εγκατάσταση ενός και μόνο συστήματος. Επίσης, κάποιος που έχει το δικαίωμα της αποκλειστικής χρήσης μιας ταράτσας μπορεί να εγκαταστήσει μόνος του το σύστημα, εφόσον το επιτρέπει ο κανονισμός του οικήματος. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα θα συνδέεται με τον μετρητή της ΔΕΗ της κατοικίας του και τα έσοδα θα εισπράττονται από τον ίδιο.

Όλη η ενέργεια που θα παράγεται θα πωλείται στη ΔΕΗ έναντι 0,55 ευρώ ανά κιλοβατώρα (kWh), τιμή εγγυημένη για 25 χρόνια. Εν προκειμένω, το καλύτερο είναι να εκμεταλλευτεί κανείς στο έπακρο τη δυνατότητα που δίνεται από το κράτος και να εγκαταστήσει σύστημα μέγιστης δυνατής ισχύος, μέχρι να φτάσει τα 10 KW, λαμβάνοντας υπόψη τα τετραγωνικά της ταράτσας ή της σκεπής του για την κάλυψη που απαιτείται». Ακολουθεί ο Πίνακας 1 όπου συνοψίζονται τα παραπάνω.

**Πίνακας 1** Ενδεικτική παρουσίαση σχεδιασμού με βάση την επιφάνεια της ταράτσας/σκεπής που διαθέτει την ισχύ του φωτοβολταϊκού, το κόστος της εγκατάστασης και το ετήσιο εισόδημα.

Επιφάνεια σκεπής υπό κλίση (m <sup>2</sup> )	Επιφάνεια ταράτσας (m <sup>2</sup> )	Αριθμός rapels που «χωράνε»	Συνολική ισχύς Φ/Β (kw)	Ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh)	Ετήσιο εισόδημα (€)	Κόστος εγκατάστασης (€)
8	15	5	1	1.350	743	4.500
15	30	10	2	2.700	1.485	9.000
23	45	15	3	4.050	2.228	13.500
30	60	20	4	5.400	2.970	18.000
38	75	25	5	6.750	3.713	22.500
45	90	30	6	8.100	4.455	27.000
53	105	35	7	9.450	5.198	31.500
60	120	40	8	10.800	5.940	36.000
68	135	45	9	12.150	6.683	40.500
75	150	50	10	13.500	7.425	45.000

\*Κάθε Φ/Β σύστημα ισχύος 1 kw στην Ελλάδα παράγει κατά μέσον όρο ενέργεια 1.350 kWh τον χρόνο.  
ΠΗΓΗ: EUROBANK

Πηγή: (Μυγιάκης, 2011).(<http://www.saronicmagazine.com/?p=2020>)

### 1.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Γενικά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο οφείλεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Αρχικά όταν το φως προσπίπτει σε μία

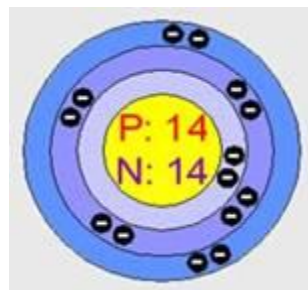


επιφάνεια είτε το διαπερνά (διαπερατότητα), είτε ανακλάται, είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας που υπάρχει. Την ενέργεια αυτή του φωτός μπορούμε να την απορροφήσουμε, οπότε και να την μετατρέψουμε σε μιά άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας), που συνήθως είναι η θερμότητα. Αν όμως υπάρξει αλλαγή στο υλικό το οποίο θα απορροφήσει την ενέργεια, και το υλικό αυτό έχει την ιδιότητα να μετατρέπει την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια, τότε έχουμε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (φωτοβολταϊκά).

Τα υλικά αυτά ονομάζονται ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται η μεγάλη εξέλιξη στον τομέα της ηλεκτρονικής και λόγω της μεγάλης τεχνολογικής προόδου που συνεχίστηκε είχαμε εξέλιξη και στους χώρους της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Στην φύση τα υλικά σε σχέση με την ηλεκτρική τους συμπεριφορά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς, όπου ένας ημιαγωγός έχει την δυνατότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

### Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών

Ένας ημιαγωγός διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα υλικά από ένα χαρακτηριστικό στοιχείο, τον αριθμό των ηλεκτρονίων που βρίσκονται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο πιο διαδεδομένος ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) γι'αυτό και θα επικεντρωθούμε σε αυτό.



Πυρίτιο (Si)

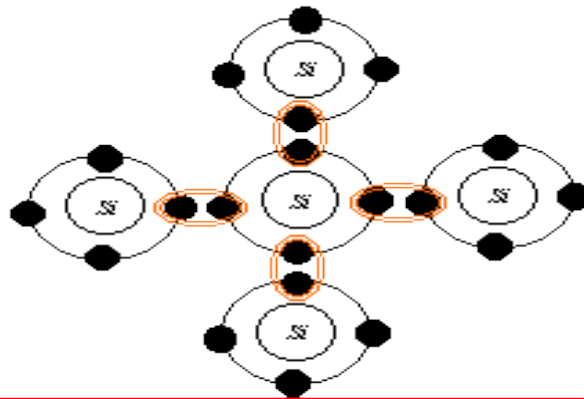
Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Βασική επιστημονική αρχή είναι ότι τα άτομα που έχουν περισσότερα ή λιγότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα ψάχνουν να βρουν άλλα άτομα με τα οποία θα μπορούν να ανταλλάξουν ή να μοιραστούν ηλεκτρόνια ούτως ώστε να συμπληρώσουν την εξωτερική τους στοιβάδα σθένους. Η εξωτερική στοιβάδα για να είναι συμπληρωμένη πρέπει να έχει 8 ηλεκτρόνια.

Λόγω της τάσης αυτής δημιουργείται η κρυσταλλική μορφή του πυριτίου όπου συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί σε μιά διάταξη, με σκοπό να μπορούν να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον

τρόπο να αποκτούν την κρυσταλλική δομή και συμπληρωμένη την εξωτερική τους στοιβάδα.

Τέλος το πυρίτιο στην κρυσταλλική του μορφή είναι σταθερό, πράγμα που το κάνει να μην έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια, δηλαδή του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, σαν να είναι μονωτής αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για να δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα στο εσωτερικό του. (Ρίζος, 2012). Στο Σχήμα 4 που ακολουθεί αναπαριστάται το πλέγμα Πυριτίου.

**Σχήμα 4 :** Αναπαράσταση κρυσταλλικού του πλέγματος Πυριτίου



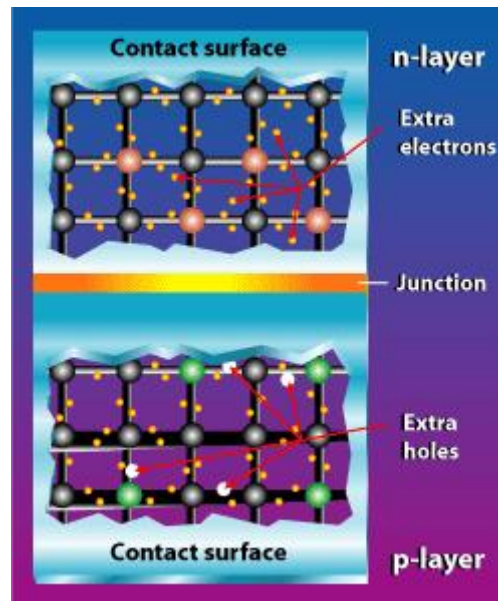
**Σχ. 1** Πλέγμα πυριτίου: με την κόκκινη διπλή γραμμή σημειώνονται οι ομοιοποτικοί δεσμοί.

(Πηγή: Παπαδοπούλου Φωτεινή Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΠΕ12: <http://13epal-esp-thess.thess.sch.gr/info-pn1.htm> )

### Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

Το πυρίτιο αποκτά τις ημιαγωγικές του ιδιότητες με τεχνητό τρόπο. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη του πυριτίου με άλλα στοιχεία τα οποία έχουν είτε ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους τους. Κατα συνέπεια ο κρύσταλλος πυριτίου γίνεται δεκτικός σε θετικά φορτία (τύπου p) ή σε αρνητικά φορτία (τύπου n) (βλ. Σχήμα 5).

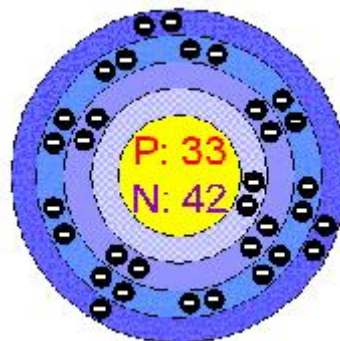
**Σχήμα 5:** Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο( τύπου n και τύπου p)



Πηγή: ([http://free-energia.blogspot.gr/2009/12/blog-post\\_3390.html](http://free-energia.blogspot.gr/2009/12/blog-post_3390.html))

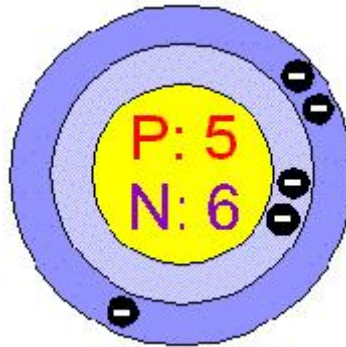
Οπότε, για να φτιαχτεί ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη του πυριτίου με ένα υλικό το οποίο θα έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα, όπως για παράδειγμα (Σχήμα 6) το Αρσένιο (As).

**Σχήμα 6:** Αναπαράσταση του ατόμου του Αρσενίου (As)



Πηγή: (<http://www.helioenergy.gr/en/14/>)

Αντίστοιχα για να φτιαχτεί ένας ημιαγωγός τύπου p ή αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη με ένα υλικό το οποίο θα έχει 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα, όπως για παράδειγμα (Σχήμα 7) το Βόριο (B).

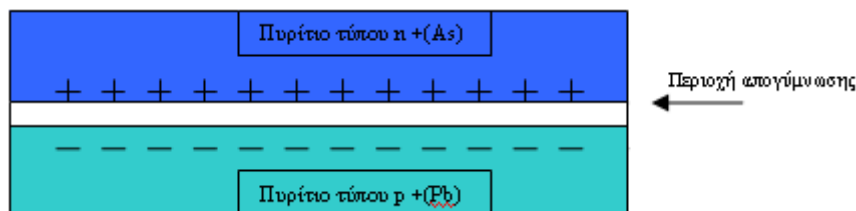
**Σχήμα 7:** Αναπαράσταση του ατόμου του Βορίου (B)

Πηγή: (<http://www.helioenergy.gr/en/14/>)

**Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου)**

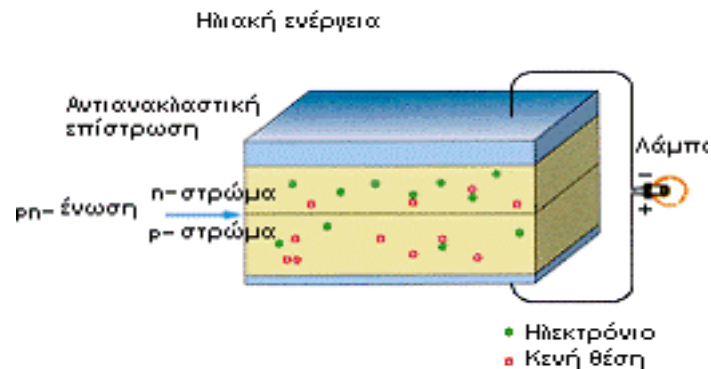
Όπως γνωρίζουμε και από την Φυσική του Λυκείου ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων ή γενικότερα φορτισμένων σωματιδίων.

Τώρα αν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου το ένα τύπου p και το άλλο τύπου n, το ένα απέναντι από το άλλο, θα δημιουργηθεί μία επαφή που θα επιτρέψει την κίνηση των ηλεκτρονίων (βλ. Σχήμα 8) προς την μία μόνο κατεύθυνση (δίοδος) (Ρίζος, 2012).

**Σχήμα 8:** Επαφή τύπου p-n

Πηγή: (<http://rizosdimitris.blogspot.gr/>)

Οι «οπές» της επαφής τύπου p έλκουν τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής τύπου n, έτσι δημιουργείται ένα ζευγάρι των δύο υλικών. Η επαφή αυτή αποτελεί το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού (βλ. Σχήμα 9) και γενικότερα η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας (Ρίζος 2012).

**Σχήμα 9:** Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκών

Πηγή: (<http://rizosdimitris.blogspot.gr>)

**Γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου (απλοποιημένα)**

Όπως είναι γνωστό η ηλιακή ενέργεια έρχεται στην γη υπο την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Η διαδικασία έχει ως εξής: τα φωτόνια προσπίπτουν στην διάταξη των Φ/Β κελιών περνούν χωρίς διαταραχές την επαφή τύπου n και στην συνέχεια χτυπούν την επαφή τύπου p. Οπότε και αρχίζει μια κινητικότητα μεταξύ των ηλεκτρονίων και των οπών της περιοχής τύπου p, ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου και απο εκεί πλέον έλκονται απο το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής. Όταν το ενεργειακό χάσμα της περιοχής αυτής ξεπεραστεί, μετά είναι αδύνατον να επιστρέψει. Επομένως στην επαφή n θα υπάρξει μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλευτούμε, διότι αυτή η περίσσεια ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας έναν μεταλλικοαγωγό στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ενδιάμεσα ένα φορτίο ουτος ώστε να δημιουργηθεί ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα. Τέλος έτσι έχουμε την απλοποιημένη γενική αρχή του φωτοβολταϊκού φαινομένου (Ρίζος, 2012).

## 1.4 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ

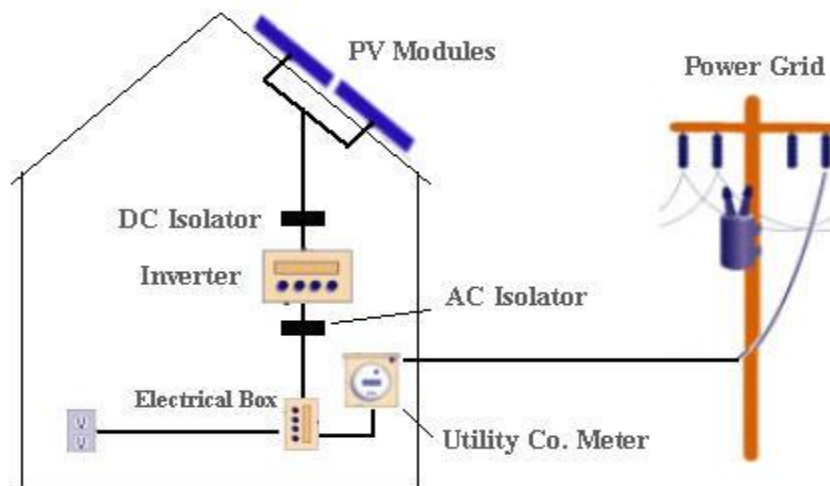
### Διάκριση Φ/Β συστημάτων

Καταγράφονται δυο κύριες κατηγορίες συστημάτων (<http://el.wikipedia.org/wiki/>) Φωτοβολταϊκών, το διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και το αυτόνομο. Η απλούστερη μορφή του δεύτερου εκ των δυο αποτελείται απλώς από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα περιέχει συνήθως μια



φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος, όπως στην περίπτωση που απαιτείται να εξέρχεται από το σύστημα εναλλασσόμενο ρεύμα. Σε μερικές περιπτώσεις το φωτοβολταϊκό σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια. Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη Φ.Β. γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Μέσα στους Φ.Β. σταθμούς όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 10.

**Σχήμα 10:** Παραγωγή ισχύος με φωτοβολταϊκά



Πηγή: (<http://el.wikipedia.org/wiki/>)

### Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου πλαίσια (στοιχεία)

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά με αποδόσεις της τάξεως του 15%. Είναι μια περισσότερο πολύπλοκη κατασκευή όμως γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής.

### Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου πλαίσια (στοιχεία)

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη και οικονομικότερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος της όλης παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές



μικρότερη απόδοση της τάξεως του 12% (<http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-8.html>).

### **Αμορφου Πυριτίου πλαίσια (στοιχεία)**

Τα φωτοβολταϊκά αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι του μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 6% (<http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-8.html>). Το χαμηλό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.

### **Άλλα είδη**

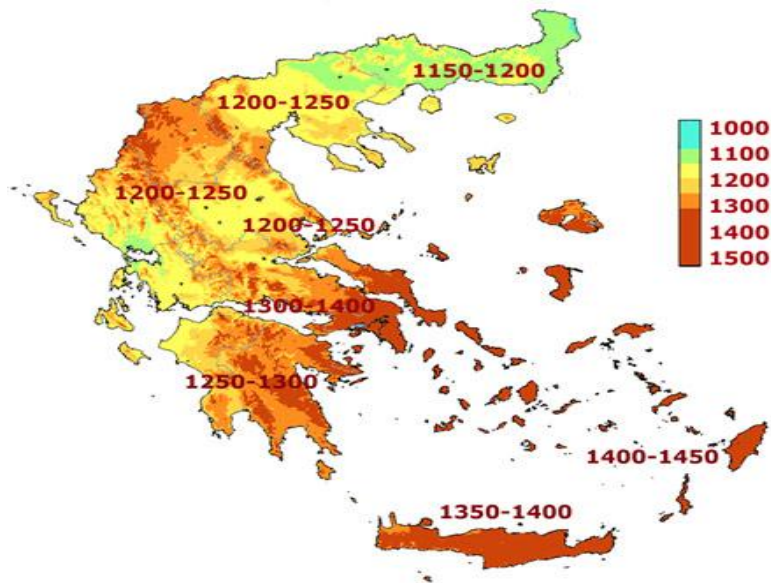
Μια σειρά από νέα υλικά που μπορούν να παραχθούν με φθηνότερες διαδικασίες από το κρυσταλλικό πυρίτιο όπως το CdTe και το CIS έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα (<http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-8.html>).

## **1.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος συνδέεται άμεσα με τα μετεωρολογικά και κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής, έχοντας ως δεδομένο ότι η ηλιακή ακτινοβολία που δίνει και την ηλεκτρική ενέργεια, επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Άλλοι παράγοντες είναι η κλίση και ο προσανατολισμός, η σκίαση και η σκόνη και ο ρύποι.

### **Ηλιακή ακτινοβολία**

Υψίστης σημασίας για τον επενδυτή είναι η ετήσια απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος, σε άθροισμα ενέργειας, σε κιλοβατώρες (kWh), καθώς και την τιμή μονάδος της κάθε κιλοβατώρας. Η απόδοση αυτή επηρεάζεται από της κλιματολογικές συνθήκες όλης της χώρας, οπότε και μπορούμε πολύ εύκολα να την προβλέψουμε. Στην Ελλάδα μια ΦΒ εγκατάσταση με την βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό είναι ικανή να παράξει, κατά μέσο όρο, από 1.150 έως 1.450 κιλοβατώρες ανά έτος ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος/KW), ανάλογα με την τοπική ηλιοφάνεια. Στην χώρα μας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 11 οι αποδόσεις ενός ΦΒ συστήματος αυξάνονται όσο πιο νότια και ανατολικά βρίσκεται η περιοχή τοποθέτησής τους, ενώ λόγω των νέων κλιματολογικών αλλαγών παρατηρείται αύξηση στην μέση παραγόμενη ενέργεια μέχρι και 15% επί των τιμών που φαίνονται στον παρακάτω χάρτη.

**Σχήμα 11:** *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας*


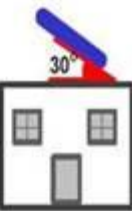

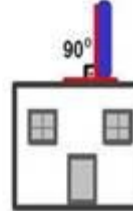
*\*Πίνακας του οδηγού του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*

Πηγή: <http://www.novel-es.gr/content.aspx?cid=334&aid=495>

**Προσανατολισμός – Κλίση**

Για να μπορεί το φωτοβολταϊκό σύστημα να εκμεταλλεύεται όσο το δυνατόν καλύτερα την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, θα πρέπει τα πλαίσια που θα εγκατασταθούν στην ταράτσα ή την στέγη, να τοποθετηθούν στην βέλτιστη κλίση ως προς την κάθετη πρόσπτωση των ηλιακών ακτίνων και με κατεύθυνση ως προς τον Νότο. Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού είναι από  $10^{\circ}$  μέχρι  $30^{\circ}$  με κατεύθυνση προς τον Νότο. Στην Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης γίνεται έχοντας Νότιο προσανατολισμό και κλίση  $30^{\circ}$ . Έχοντας ως δεδομένο ότι στην περίπτωση των κτηριακών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων οι βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού μπορεί να είναι ανέφικτες, προτείνονται επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με αζιμουθιακή απόκλιση έως  $70^{\circ}$  από το Νότο και κλίση εντός του εύρους από  $10^{\circ}$  μέχρι  $30^{\circ}$  (βλ. Σχήμα 12). Σημειώνεται ότι η χρήση γωνιών άνω των  $10^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό (μέσω των σταγονιδίων της βροχής) των ΦΒ πλαισίων από σωματίδιο σκόνης και άλλους ρύπους που μεταφέρονται με την βροχή.

**Σχήμα 12:** Προσανατολισμός και κλίση των φωτοβολταϊκών στη στέγη ή την ταράτσα

 Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	 30°	 0°	 90°
Ανατολικός - Δυτικός	85%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	50%kWh <sub>(max)</sub>
ΝοτιοΑνατολικός - ΝοτιοΔυτικός	95%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	60%kWh <sub>(max)</sub>
Νότιος	kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	60%kWh <sub>(max)</sub>
ΒορειοΑνατολικός - ΒορειοΔυτικός	67%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	30%kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειος	60%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	20%kWh <sub>(max)</sub>

Πηγή: <http://www.novel-es.gr/content.aspx?cid=334&aid=495>

## Σκίαση

Η ιδανική θέση εγκατάστασης ΦΒ πλαισίων είναι αυτή στην οποία δεν παρατηρούνται φαινόμενα σκίασης καθώς η εμφάνισή της έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ισχύος που παράγεται από τη ΦΒ γεννήτρια. Η σκίαση (<http://www.novel-es.gr/content.aspx?cid=334&aid=495>) μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως:

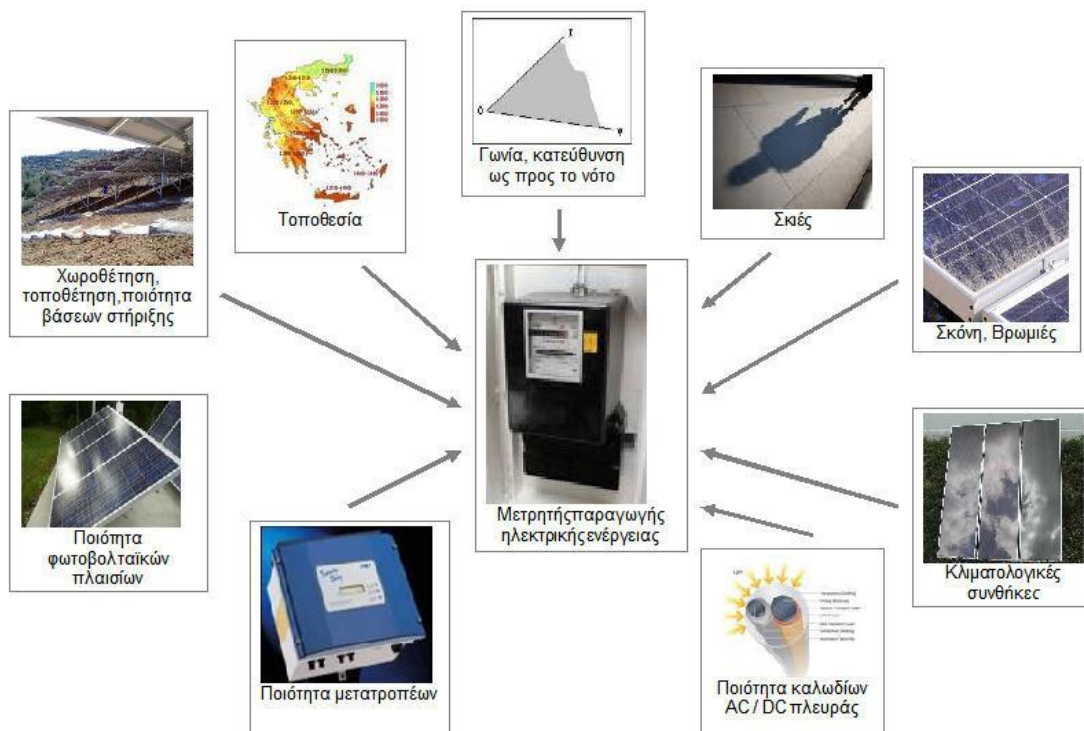
- Προσωρινή σκίαση: Τυπικά παραδείγματα προσωρινής σκίασης αποτελούν το χιόνι, τα φύλλα, το χώμα κτλ.
- Σκίαση που οφείλεται στην τοποθεσία: Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνεται η σκίαση από παρακείμενα κτίρια, δέντρα, ψηλά κτίρια, κολώνες κτλ.
- Σκίαση που οφείλεται στο ίδιο το κτίριο: Κατά την εγκατάσταση ενός ΦΒ φωτοβολταϊκού συστήματος θα πρέπει να δοθεί επίσης έμφαση στις θέσεις των κεραιών, των καμινάδων, των καλωδίων φωτισμού, των προεξοχών του κτιρίου και της στέγης.
- Σκίαση που οφείλεται στο ίδιο το σύστημα: Η εσφαλμένη ή η έλλειψη μελέτης χωροθέτησης των ΦΒ πλαισίων μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τη σκίαση του ενός από το άλλο με αποτέλεσμα την σημαντικά μειωμένη απόδοση της ΦΒ εγκατάστασης αλλά και την επιβάρυνση στην λειτουργία των πανέλων που σκιάζονται ελαττώνοντας αρκετά την διάρκεια ζωής τους. Το φαινόμενο αυτό ασφαλώς μπορεί να αποφευχθεί με την σωστή μελέτη χωροθέτησης η οποία θα εξάγει την βέλτιστη επιλογή της κλίσης των πλαισίων και της αξονικής απόστασης μεταξύ τους.

### Ρύποι που κατακάθονται στα πάνελ (σκόνη)

Υπολογίζεται ότι η βρωμιά επάνω στα πάνελ εκτός από τη μείωση της μακροζωίας του εξοπλισμού, ευθύνεται για ετήσια μείωση της παραγωγής και κατά συνέπεια διαφυγόντα κέρδη της τάξεως του 10-15%. Ο καθαρισμός των Φωτοβολταϊκών πάνελ από της πάσης φύσεως επικαθίσεις (γύρη, περιττώματα πουλιών, σκόνη, λάσπη, χιόνι, φερτές ύλες, χημικές ενώσεις, άλατα, αρμύρα, κ.λπ. ), οφείλει να γίνεται τουλάχιστον δύο φορές το χρόνο, Μάρτιο/Απρίλιο, όταν έχουν περάσει οι βροχές, και Αύγουστο /Σεπτέμβριο, στο τέλος του καλοκαιριού.

Η τελευταία αναφορά σχετικά με την αναγκαιότητα του καθαρισμού των φωτοβολταϊκών πάνελ μας έδωσε την αφορμή να κατασκευάσουμε ένα λειτουργικό μηχανήμα πλήρως αυτοματοποιημένο το οποίο θα τοποθετείται σε μια φωτοβολταϊκή συστοιχία και με το πατημα ενός μπουτόν θα απομακρύνει όλους τους ρύπους από την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών, οι οποίοι αναπαρίστανται στο Σχήμα 13.

**Σχήμα 13:** Γενικά διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος



Πηγή: <http://www.faethonsolar.com/GR-faq-paragodes.html>

## 2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Ως ηλεκτρική μηχανή ορίζεται κάθε συσκευή που πραγματοποιεί ηλεκτρομηχανική μετατροπή, δηλαδή μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική και



αντιστρόφως. Η ηλεκτρική μηχανή είναι η καρδιά ενός συστήματος ηλεκτρικής κίνησης. Οι μετατροπείς και ο έλεγχος που εφαρμόζεται σε αυτούς έχουν ένα και μοναδικό σκοπό: Την επίτευξη της επιθυμητής λειτουργίας της ηλεκτρικής μηχανής ώστε να λάβουμε το ζητούμενο αποτέλεσμα στο φορτίο. Ανάλογα με το είδος του φορτίου, την πηγή ισχύος, την ύπαρξη ή μη μετατροπέα και διάφορα άλλα οικονομικοτεχνικά κριτήρια που άπτονται της εκάστοτε εφαρμογής επιλέγεται το είδος του κινητήρα που θα χρησιμοποιηθεί στο συγκεκριμένο σύστημα ηλεκτρικής κίνησης. Η σημαντικότερη διαφοροποίηση των ηλεκτρικών μηχανών είναι είτε να λειτουργεί ως κινητήρας, δηλαδή να καταναλώνει ενέργεια από το δίκτυο, είτε ως γεννήτρια, όπου επιστρέφει την ενέργεια στο δίκτυο. Οι κινητήρες που απαντώνται στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης διακρίνονται ανάλογα με την τροφοδοσία τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος και τους Κινητήρες Εναλλασσομένου Ρεύματος. Η κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες περιλαμβάνει όμως πολλές υποκατηγορίες με σημαντικές διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά και στη λειτουργία τους.

## 2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Όπως αναφέρεται από τους μελετητές στο πεδίο αυτό (Φραγκόπουλος, 2012) ήμερα 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.

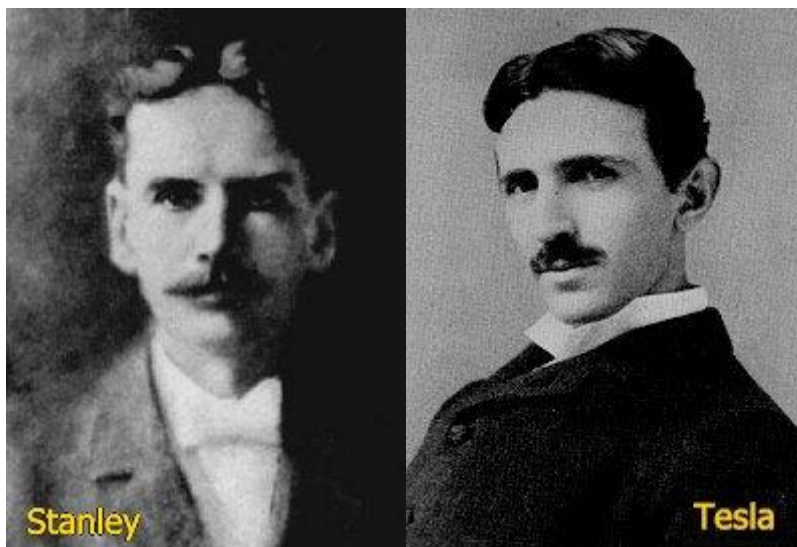
Σημειώνεται ότι το 1881 άρχισε να λειτουργεί η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Godalming της Αγγλίας, μεταξύ Λονδίνου και Πόρτσμουθ, με ισχύ 746 kW. Η πόλη αυτή απέκτησε και τον πρώτο δημόσιο ηλεκτρικό φωτισμό, αρχικά με 3 λάμπες βολταϊκού τόξου και 7 λάμπες πυρακτώσεως και αργότερα με 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.

Αναφέρεται ότι στη Γερμανία εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Στουγκάρδη το έτος 1882 και ήταν σε θέση να τροφοδοτήσει μέχρι 30 λάμπες πυρακτώσεως, μπορούμε να εκτιμήσουμε συνολικά περί το 1,5 kW. Το ίδιο έτος άρχισαν να φωτίζουν δρόμους του Βερολίνου



ηλεκτρικές λάμπες χαμηλής ισχύος, οι οποίες τροφοδοτούνταν από γειτονικές μονάδες παραγωγής. Το έτος 1885 εγκαταστάθηκε στο Βερολίνο ο πρώτος μεγαλύτερος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είχε από την πόλη την άδεια να τροφοδοτεί καταναλωτές σε ακτίνα μέχρι 800 μέτρα. Σ' αυτή την περιοχή είχε η εταιρία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας το δικαίωμα να τοποθετεί αγωγούς για την παροχή ρεύματος.

Αξιοσημείωτο θεωρείται το έτος 1885 όταν 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 απαιτήσε όμως κάποια χρόνια, λόγω της σφοδρής αντιδικίας και του ανταγωνισμού μεταξύ δύο σημαντικών παραγόντων της οικονομικής και τεχνολογικής ζωής στις ΗΠΑ, του Thomas Alva Edison και του βιομήχανου George Westinghouse (Γουέστινγκχάους, 1846-1914) από το Pittsburgh. Το έτος 1886 εγκαθιστά ο George Westinghouse (Γουέστινγκχάους, 1846-1914), ο οποίος ήδη το 1865 είχε κατασκευάσει μία περιστρεφόμενη ατμογεννήτρια και το 1881 τελειοποίησε ένα ηλεκτρικό σύστημα ασφάλειας των τραινών, μία μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας με ΕΡ στο Barrington της Μασαχουσέτης. Η αντιδικία με τον Edison είχε ελάχιστα επιστημονικά και τεχνικά, αλλά πάρα πολλά λαϊκίστικα στοιχεία και έφτασε στις 30 Ιουλίου 1888 σε προσωρινό αποκορύφωμα, όταν σε ένα εργαστήριο του New York Columbia College μερικοί άντρες κρατάγανε με τη βία έναν εύσωμο σκύλο, στον οποίο τα πόδια έχουν τοποθετηθεί ηλεκτρόδια. Στόχος ήταν να δείξουν οι μηχανικοί του Edison ότι το ΕΡ που προτείνει ο Westinghouse, είναι πιο επικίνδυνο από το δικό του ΣΡ.



Το μακάβριο πείραμα (Φραγκόπουλος, 2012) έχει πρώτο θύμα του τον άτυχο σκύλο, ο οποίος σφαδάζει από το διερχόμενο ΕΡ του Westinghouse, ενώ οι μηχανικοί



αφήνουν να εννοηθεί ότι με το ΣΡ του Edison, θα επιζούσε ο σκύλος. Υπάλληλοι του Edison επαναλαμβάνουν το πείραμα με διάφορες αφορμές και σε διάφορα μέρη για να τρομοκρατήσουν τους πολίτες, πόσο επικίνδυνος θα είναι ο ηλεκτρισμός, αν λειτουργήσει με το σύστημα του αντιπάλου. Για τον κόσμο, ακόμα και για πολλούς τεχνικούς, ο ηλεκτρισμός παρέμενε ακόμα ένα μυστήριο, ένα περίεργο «ρευστό» που διαπερνάει τα καλώδια και μεταφέρει ενέργεια, ανάβει λυχνίες, θέτει σε λειτουργία κινητήρες, προκαλεί ηλεκτροπληξία κ.ο.κ. Κανείς δεν πολυκαταλαβαίνει, αν και οι θεωρητικές γνώσεις είναι ήδη διαθέσιμες, γιατί ο σκύλος ξεψύχησε, όταν οι τεχνικοί ανέβασαν την τάση στα 330V με «ρεύμα του Westinghouse». Οι τεχνικοί ισχυρίζονται ότι με το «ρεύμα του Edison» κάτι τέτοιο θα ήταν αδύνατον, γιατί δεν υπάρχει κάποιο σύστημα να ανεβάζει ή να κατεβάζει τη συνεχόμενη τάση. Ενώ το για «απορριπτέο» ρεύμα του Westinghouse υπάρχει ο μετασχηματιστής του Στάνλυ που αξιοποιείται στο ΕΡ και είναι υπεύθυνος για τις υψηλές τάσεις και... τις ηλεκτροπληξίες.

Σημειώνεται ότι (Φραγκόπουλος, 2012) λίγα χρόνια μετά συνέδεσε ο Edison στον περιστρεφόμενο άξονα μιας ατμομηχανής ένα «δυναμό» και είχε έτοιμη την πρώτη στον κόσμο μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με ΣΡ. Η «Edison Electric Light Company», όπως ονομαζόταν η εταιρία του Edison πριν μετονομαστεί σε «General Electric», άρχισε να συνδέει στη γεννήτριά του όλο και περισσότερους καταναλωτές, βιοτεχνίες και νοικοκυριά. Ο Δήμος της Νέας Υόρκης αντικατέστησε τους φανοστάτες αερίου με ηλεκτρικούς λαμπτήρες. Σ' αυτό το τοπίο εξελισσόταν παράλληλα ένας ανελέητος επιχειρηματικός αγώνας με κάθε θεμιτό και αθέμιτο μέσο: η μηχανή που έκανε πλεονεκτικό το ΕΡ, ο μετασχηματιστής, παρουσιάζονταν σαν «σατανάς» που θα σκότωνε τους καταναλωτές. Μια μικρή αύξηση της τάσης (από απροσεξία, δήθεν) και ο καταναλωτής θα υπέκυπτε από ηλεκτροπληξία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι 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.

Είναι σαφές ότι 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.

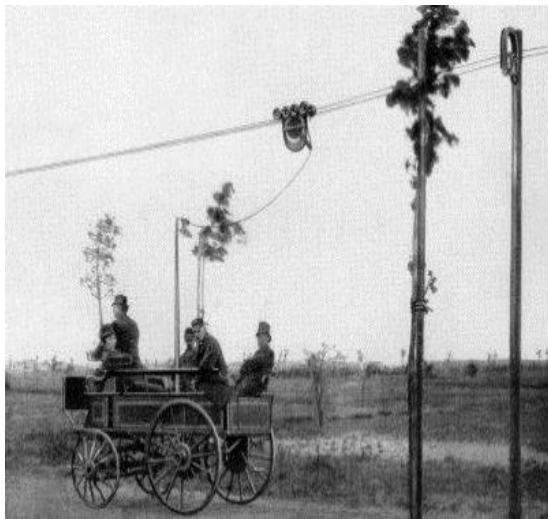
Η συνέχεια στο ιστορικό της ηλεκτρικής ενέργειας δόθηκε από τον μηχανικό και βιομήχανο George Westinghouse που αποφάσισε έτος 1885 να ασχοληθεί με τις ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές και να «εισέλθει στα χωράφια» του Edison. Αγόρασε λοιπόν τις ευρεσιτεχνίες για μια γεννήτρια ΣΡ και για τη λυχνία πυρακτώσεως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

Επειδή ο Edison έπρεπε, αντίθετα, να χρηματοδοτεί πολλές μικρές μονάδες παραγωγής μέσα σε κατοικημένες περιοχές, οπότε ήταν τεχνολογικά και οικονομικά σε δυσμενή θέση, έριξε όλο το βάρος προβολής του προϊόντος του στη δυσφήμιση του αντιπάλου. Από το έτος 1887 συγγραφούν συνεργάτες και μοιράζουν φυλλάδια με φρικιαστικές περιγραφές, τι μπορεί να πάθει ο καταναλωτής, άμα χρησιμοποιεί το «επικίνδυνο ρεύμα» του Westinghouse. Λίγο μετά (Φραγκόπουλος, 2012) 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 χρησιμοποιούτο το ΕΡ του Westinghouse, ποτέ το δικό του ΣΡ, το οποίο θα ήταν εξ ίσου θανατηφόρο. Στη συνέχεια διασπείρει ο Edison αληθείς ή ψευδείς ιστορίες για ατυχήματα που είχαν καταναλωτές με ΕΡ, κάποια στιγμή προσπάθησε, μάλιστα, ανεπιτυχώς, να πείσει αρμόδιους πολιτικούς να απαγορέψουν τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας με τάση άνω των 300 V. Αυτό θα ήταν καταδικαστικό για τον Westinghouse, ο οποίος χρησιμοποιούσε για τη μεταφορά ενέργειας «υψηλές» τάσεις (σήμερα «μεσαίες»).



Στο ιστορικό της εποχής (Φραγκόπουλος, 2012) καταγράφεται ότι ο Westinghouse παραμένει ψύχραιμος, διαβλέπει το αδιέξοδο και τον πανικό του Edison και τροφοδοτεί επίσης τις εφημερίδες με δικές του πληροφορίες. Στις εφημερίδες των μεγάλων πόλεων εκείνης της εποχής περιέχονται πάμπολλα άρθρα με αληθινές ή φανταστικές ιστορίες περί ηλεκτρισμού που προωθούν οι πλευρές των δύο ανταγωνιστών. Ο Westinghouse προσκαλεί τον Edison το καλοκαίρι του 1888 στο σπίτι του στο Pittsburgh για μια συζήτηση, ίσως και συνεργασία - μια σαφέστατη πρόταση ειρήνης. Ο Edison αρνείται την πρόσκληση, γιατί είναι «πολύ απασχολημένος» (too busy). Ο πανούργος Edison ακολουθούσε ένα νέο σχέδιο δυσφήμισης του Westinghouse και δεν του χρειαζόταν ειρήνη για να κερδίσει: το έτος 1889 άρχισε να ισχύει στη Νέα Υόρκη ένας νέος νόμος για τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος στην εκτέλεση θανατοποινιτών. Ο Edison άρχισε να ρητορεύει υπέρ του EP, με αυτό το ρεύμα έπρεπε να εκτελούνται οι θανατοποινίτες, γιατί αυτό σκοτώνει σίγουρα.

Από τα κείμενα της εποχής οι ερευνητές καταγράφουν (Φραγκόπουλος, 2012) ότι ήθελε με κάθε τρόπο να ταυτίσουν οι άνθρωποι, πολίτες και πολιτικοί, το EP του Westinghouse με τον θάνατο. Γράφει μια μελέτη για την κατασκευή της πρώτης «ηλεκτρικής καρέκλας», την οποία δηλώνει ως ευρεσιτεχνία και η οποία λειτουργεί, φυσικά, με EP. Μάλιστα, εισηγείται στις αρμόδιες υπηρεσίες να καθιερωθεί ένας νέος όρος στην αγγλική καθομιλουμένη: το ρήμα «εκτελώ» (to execute) να λέγεται «to westinghouse», όταν πρόκειται για εκτέλεση στην ηλεκτρική καρέκλα! Οι έντονες διαμαρτυρίες του Westinghouse για τις συκοφαντικές παρεμβάσεις του Edison δεν φαίνεται να επηρέασαν κανέναν. Τον Αύγουστο του 1890 εκτελείται ο πρώτος θανατοποινίτης στην «ηλεκτρική καρέκλα» με EP. Όμως, κατά σύμπτωση και προς μεγάλη δυσφορία του Edison, ο προς εκτέλεση δεν πέθανε αμέσως, όταν επεβλήθη στο σώμα του τάση 1000 V. Ο χειριστής (State Electrician) έπρεπε να ανεβάσει την τάση στα 2000 V για να ολοκληρωθεί η εκτέλεση.



Αριστερά: Πρωτότυπο ηλεκτροκίνητου οχήματος που τροφοδοτείται με εναέρια γραμμή, Γερμανία 1882,

Δεξιά: Από τις πρώτες εκτελέσεις θανατοποινιτών στην ηλεκτρική καρέκλα, ΗΠΑ.

Πηγή: <http://sfrang.com/historia/selida604.htm>

Παρ' όλες τις αντιδράσεις και τις δυσφημήσεις, η τεχνολογική και οικονομική πραγματικότητα φαίνεται να υπερνίκησε: μέσα σε δύο χρόνια ολοκληρώνει ο Westinghouse περισσότερα από 30 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοτεί το έτος 1890 ήδη 130 αμερικάνικες πόλεις, με ΕΡ. Το έτος 1893 υποβάλλει ο Westinghouse μια προσφορά για την ηλεκτροδότηση της παγκόσμιας έκθεσης στο Σικάγο κατά περίπου 1 εκατομμύριο δολάρια χαμηλότερη από εκείνη του Edison. Στην έκθεση προμήθευσε η εταιρία «Westinghouse» ηλεκτρική ενέργεια από δικές της μονάδες για 180.000 λαμπτήρες. Η επόμενη μεγάλη σύγκρουση μεταξύ των δύο πρωτοπόρων βιομηχάνων του ηλεκτρισμού σχετίζεται με ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιεί την υδατόπτωση των καταρρακτών του Νιαγάρα. Και σ' αυτή την περίπτωση κέρδισε το έργο η πλευρά του Westinghouse και από το έτος 1896 παρήγαγαν οι γεννήτριές του ηλεκτρική ενέργεια για την πόλη Buffalo σε απόσταση 40 km. Από τότε όλες σχεδόν οι πόλεις στις ανεπτυγμένες χώρες εγκαθιστούν δίκτυο ΕΡ.

Βέβαια (Φραγκόπουλος, 2012), αναφέρεται ότι 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 καθλώθηκε 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 (Φραγκόπουλος, 2012). Στην πορεία αυτών των πειραμάτων ανακάλυψε ότι δύο εναλλασσόμενα ρεύματα ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικής αρχικής φάσης δημιουργούσαν στο χώρο ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Παράλληλα με τον Ferraris πραγματοποιούσε όμοια πειράματα, αλλά με 3 ΕΡ και ο τότε βοηθός του Edison, Nicola Tesla.

Το έτος 1886 κατασκευάστηκε στη Γερμανία μια τριφασική γραμμή που τροφοδοτείτο από 3 μονοφασικούς κινητήρες και ένα χρόνο μετά κατασκεύασε ο Friedrich August Haselwander (Χάξελβάντερ, 1851-1929) την πρώτη τριφασική γεννήτρια (σύγχρονη μηχανή). Αξιοποιώντας τα πειράματα διαφόρων ερευνητών, κατασκεύασε ο Ρωσο-Γερμανός Michael Dolivo-Dobrowolsky (Ντομπροβόλσκυ, 1862-1919) το έτος 1889 τον πρώτο επαγωγικό τριφασικό κινητήρα με ικανοποιητική συμπεριφορά. Ο κινητήρας αυτός λειτουργούσε με βραχυκυκλωμένο κλωβό του δρομέα και κατασκευάστηκε στα εργαστήρια της εταιρίας AEG στο Βερολίνο. Μέχρι σήμερα δεν άλλαξε ουσιαστικά η βασική κατασκευαστική αρχή αυτών των κινητήρων (Φραγκόπουλος, 2012), οι οποίοι είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι σε όλες τις εφαρμογές.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα επόμενα χρόνια εξελίχθηκε το γερμανικό τριφασικό σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε τέτοιο βαθμό, ώστε το έτος 1891 τροφοδοτήθηκε η Φραγκφούρτη, σε απόσταση 175 km από το εργοστάσιο παραγωγής, με βαθμός αποδόσεως 70%. Το έτος 1893 τροφοδοτούσε η εταιρία Westinghouse περί τις 250.000 λαμπτήρες στην παγκόσμια έκθεση εμπορίου του Σικάγου. Ο Χάξελβάντερ 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 Χάξελβάντερ (Φραγκόπουλος, 2012).

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 διάφορους 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 παρά τις τάσεις ανταγωνισμού που υπήρχαν.



Συνεχίζοντας τη μελέτη του ιστορικού γίνεται όλο και σαφέστερη η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που οδήγησε την παραγωγή σε αδιέξοδο (Φραγκόπουλος, 2012), 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.

Συνεχίζοντας την ανάγνωση της ιστορίας «βλέπουμε» ότι 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.

Επίσης ότι 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.



Σημειώνεται ότι με την εξάπλωση των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας επήλθε η δεύτερη μεγάλη αλλαγή, μετά το σιδηρόδρομο, στο τοπίο των βιομηχανικά αναπτυγμένων χωρών. Παρουσιάστηκαν οι εναέριες γραμμές μεταφοράς



ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και οι υπαίθριες μετασχηματιστών και κέντρων μετασχηματισμού της υψηλής τάσης.

Το έτος 1889 έφτασε ο «ηλεκτρισμός» στην Ελλάδα (Φραγκόπουλος, 2012). Σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία της ΔΕΗ, η «Γενική Εταιρεία Εργοληψιών» κατασκεύασε στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο σημερινό ιστορικό κέντρο της πόλης. Τον ίδιο χρόνο ηλεκτροδοτείται επίσης η Θεσσαλονίκη, η οποία ανήκει ακόμα στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Η «Βελγική Εταιρία» αναλαμβάνει απ' τις τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροchioδρόμηση της πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δέκα χρόνια αργότερα κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα οι πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού. Η αμερικανική εταιρία Thomson-Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας ιδρύουν την «Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία» που αναλαμβάνει την ηλεκτροδότηση μεγάλων ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα έχουν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους.

Αναφέρεται ότι στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αναλαμβάνουν την ηλεκτροδότηση ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το έτος 1950 υπήρχαν στη Ελλάδα περίπου 400 εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως πρωτογενή ενέργεια χρησιμοποιούσαν το πετρέλαιο και το γαιάνθρακα, αμφότερα φυσικά εισαγόμενα από το εξωτερικό (Φραγκόπουλος, 2012).

## 2.2 ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Γενικά , υπάρχουν τρεις μεγάλες κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων, οι οποίες εμπεριέχουν υποκατηγορίες:

### 1) Κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος (AC)

Αυτού του τύπου οι κινητήρες τροφοδοτούνται από το μονοφασικό ή το τριφασικό δίκτυο εναλλασσόμενης τάσης με συχνότητα 50 Hz . Οι ηλεκτρικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες στην πράξη καλύπτοντας ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών. Υπάρχουν πολλά είδη μηχανών εναλλασσομένου ρεύματος με διαφορετικά χαρακτηριστικά και τρόπους λειτουργίας . Διακρίνονται σε μονοφασικές, διφασικές, τριφασικές και πολυφασικές, ανάλογα με τον αριθμό των εναλλασσόμενων ημιτονοειδών τάσεων τροφοδοσίας. Επίσης διακρίνονται σε σύγχρονες και ασύγχρονες αναλόγως με την ταχύτητα περιστροφής τους κατά την κανονική λειτουργία. Στην πλειονότητα των πρακτικών εφαρμογών μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται τριφασικές μηχανές που δέχονται συμμετρική τριφασική ημιτονοειδή τροφοδοσία. Όπως είναι ευνόητο η διαφορά φάσεως των

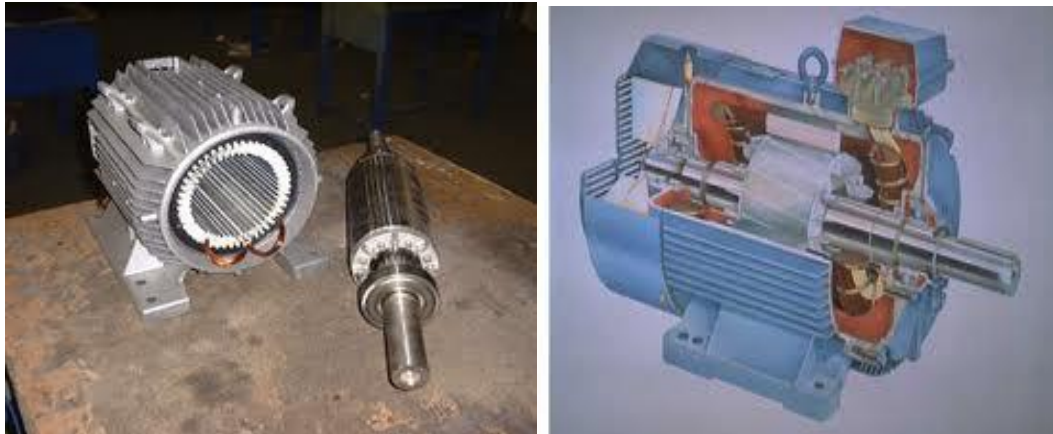


τάσεων τροφοδοσίας στην περίπτωση αυτή είναι  $120^\circ$  ηλεκτρικές μοίρες . Στη συνέχεια θα αναλύσουμε σύντομα τους πιο σημαντικούς τύπους σύγχρονων και ασύγχρονων μηχανών ( θα περιοριστούμε σε τριφασικές μηχανές ):

#### **α) Σύγχρονες Μηχανές :**

Οι σύγχρονες μηχανές, όπως φανερώνει και το όνομά τους περιστρέφονται με τη σύγχρονη ταχύτητα στην ονομαστική τους λειτουργία. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην αλληλεπίδραση δύο πεδίων: του πεδίου διεγέρσεως και του πεδίου τυμπάνου. Το πεδίο τυμπάνου δημιουργείται συνήθως από τριφασικά σταθερά τυλίγματα που βρίσκονται στον στάτη και δημιουργούν ένα ομοιόμορφο στρεφόμενο και ημιτονοειδές κατανομημένο στο στάτη μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο διεγέρσεως βρίσκεται συνήθως στον δρομέα, χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο. Συνήθως είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης (τύλιγμα διεγέρσεως ή τύλιγμα πεδίου), ο οποίος τροφοδοτείται με συνεχή τάση μέσω ψηκτρών. Όμως με την μεγάλη έρευνα και τις τελευταίες προόδους που έχουν συντελεστεί στην τεχνολογία των υλικών έχουν προκύψει μόνιμοι μαγνήτες με μεγάλη παραμένουσα μαγνήτιση ( μέχρι  $1,2 \text{ T}$  ) και υψηλή συνέχουσα δύναμη ( μέχρι  $1000 \text{ kA/m}$  ), όπως λ.χ. τα κράματα Νεοδυμίου-Σιδήρου - Βορίου που τοποθετούνται επιφανειακά στον δρομέα. Τα υλικά αυτά έδωσαν τη δυνατότητα αντικατάστασης του ηλεκτρομαγνήτη που συνήθως απαιτούσε τροφοδοσία με ψηκτρες από κάποιον μόνιμο μαγνήτη, ο οποίος δεν έχει ανάγκη ηλεκτρικής τροφοδοσίας. Οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται σύγχρονοι κινητήρες μόνιμων μαγνητών και έχουν συγκεντρώσει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον, ενώ ήδη χρησιμοποιούνται σε πρακτικές εφαρμογές με πολύ καλά αποτελέσματα. Είναι πιο απλοί και αξιόπιστοι και εμφανίζουν μικρότερες απώλειες ( άρα και καλύτερη απόδοση ) από τους αντίστοιχους σύγχρονους κινητήρες τυλιγμένου δρομέα. Ένα άλλο είδος σύγχρονων κινητήρων που παρουσιάζει ενδιαφέρον, για ειδικές όμως εφαρμογές ηλεκτρικής κίνησης είναι οι σύγχρονοι κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης (βλ Σχήμα 13). Στον στάτη τους υπάρχουν και πάλι τα τριφασικά τυλίγματα των σύγχρονων κινητήρων που περιγράψαμε παραπάνω. Ο δρομέας τους όμως που αποτελείται είτε από μόνιμους μαγνήτες είτε από ηλεκτρομαγνήτες κατασκευάζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζει μικρό διάκενο κατά τον ευθύ άξονα (d) και μεγάλο κατά τον εγκάρσιο άξονα (q) (δηλαδή μικρή και μεγάλη μαγνητική αντίσταση αντίστοιχα). Η ύπαρξη του μεταβλητού διακένου και συνακόλουθα της μεταβλητής μαγνητικής επαγωγής οδηγεί στην ανάπτυξη δυνάμεων που στρέφουν το δρομέα προς τη θέση ελάχιστης μαγνητικής ενέργειας. Αυτή είναι η αρχή λειτουργίας των κινητήρων αυτών . Όπως προαναφέρθηκε προορίζονται για ειδικές εφαρμογές.

**Σχήμα 13:** Σύγχρονοι κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης



Πηγή: <http://electrology.mysch.gr/?p=281>

## β) Ασύγχρονες Μηχανές:

Οι ασύγχρονες μηχανές ή μηχανές επαγωγής, όπως φανερώνει και το όνομά τους στρέφονται γενικά με ταχύτητα διαφορετική από τη σύγχρονη στην ονομαστική τους λειτουργία. Ο στάτης των μηχανών αυτών είναι ίδιος με τον στάτη των σύγχρονων μηχανών και διαθέτει τριφασικά σταθερά τυλίγματα που δημιουργούν ένα ομοιόμορφο στρεφόμενο και ημιτονοειδώς κατανεμημένο στο στάτη μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο αυτό στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα. Για τη διαμόρφωση του δρομέα των ασύγχρονων μηχανών υπάρχουν δύο δυνατότητες. Είτε ο τυλιγμένος δρομέας, ο οποίος διαθέτει τριφασικό τύλιγμα όμοιο με του στάτη και δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης με κάποιο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα μέσω ψηκτρών είτε ο δρομέας τύπου κλωβού που είναι και η συνηθέστερη επιλογή. Ο δρομέας τύπου κλωβού αποτελείται από έναν κλωβό από αγωγίμο υλικό ο οποίος συνίσταται από διαμήκεις ράβδους που ενώνονται με δύο μεταλλικούς δακτυλίους στα άκρα τους. Δεν απαιτεί καμία εξωτερική τροφοδοσία ενώ στις ράβδους του αναπτύσσονται ρεύματα εξ επαγωγής με πολύ μικρή συχνότητα (εξ' ου και η ονομασία κινητήρας επαγωγής). Και τα δύο παραπάνω είδη κινητήρων, όπως αναφέρθηκε, εμφανίζουν γενικά ασύγχρονη λειτουργία. Αν παρατηρήσουμε το δρομέα μιας ασύγχρονης μηχανής σε σχέση με το σύγχρονο στρεφόμενο πεδίο θα δούμε ότι ο δρομέας ολισθαίνει ελαφρώς ως προς αυτό, λόγω της διαφοράς στην ταχύτητα περιστροφής. Ορίζεται λοιπόν ένα νέο μέγεθος, η ανά μονάδα ολίσθηση που συμβολίζεται με  $s$  και δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

όπου  $\omega_s$  η σύγχρονη κυκλική συχνότητα και  $\omega$  η πραγματική κυκλική συχνότητα περιστροφής της μηχανής. Όπως είναι φανερό η ολίσθηση μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές (για λειτουργία γεννήτριας) ενώ τυπικές τιμές της είναι 0,01-0,05αμ. Οι ασύγχρονοι κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος ή κινητήρες επαγωγής παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως υψηλή αξιοπιστία και απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής χωρίς ιδιαίτερες ανάγκες συντήρησης και μικρό βάρος και



όγκο. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τους μοντέρνους αντιστροφείς και τις προηγμένες τεχνικές ελέγχου τους καθιστούν την ιδανική επιλογή για τα περισσότερα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης. Ήδη υπάρχει η τάση αντικατάστασης των κινητήρων συνεχούς ρεύματος σε βιομηχανικό επίπεδο από τους πιο οικονομικούς και αξιόπιστους κινητήρες επαγωγής (βλ. Σχήμα 14) ενώ το ενδιαφέρον και για νέες εφαρμογές είναι αυξημένο.

**Σχήμα 14:** Κινητήρες επαγωγής



**Πηγή:** <http://greek.ac-servodriver.com/china-ptc-thermistor-waterproof-permanent-magnetic-three-phase-ac-synchronous-servo-motor-328496.html>

## 2) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC)

Οι ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς ρεύματος ιστορικά προηγούνται των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος. Η δυνατότητα που παρέχουν για εύκολο έλεγχο ταχύτητας και ροπής τις είχε καταστήσει για δεκαετίες τη μοναδική επιλογή για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης που απαιτούσαν μεταβλητή ταχύτητα λειτουργίας. Η ευκολία του ελέγχου έγκειται στο ότι γενικά σε μια μηχανή συνεχούς ρεύματος η ταχύτητα περιστροφής είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης στο τύμπανο και η αναπτυσσόμενη ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου (αυτό ισχύει επακριβώς μόνο για τους κινητήρες συνεχούς ξένης διέγερσης). Συνεπώς, όπως ήδη θα είναι φανερό, είναι αρκετά απλός ο έλεγχος ενός τέτοιου κινητήρα (λ.χ. μέσω ενός μετατροπέα συνεχούς σε συνεχές – DC to DC Converter). Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος έχουν χρησιμοποιηθεί για πάρα πολλά χρόνια σε συστήματα ηλεκτρικής κίνησης και θεωρούνταν αναντικατάστατοι σε εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής. Μόνο τα τελευταία είκοσι χρόνια δόθηκε η δυνατότητα αντικατάστασής τους από τους ασύγχρονους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (κινητήρες επαγωγής) που οδηγούνται με προηγμένες τεχνικές ελέγχου.

Η λειτουργία του κλασσικού ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος βασίζεται στην αλληλεπίδραση δύο μαγνητικών πεδίων. Το πρώτο πεδίο δημιουργείται από μόνιμους μαγνήτες (διέγερση) που βρίσκονται συνήθως σταθερά προσαρμοσμένοι στον στάτη της μηχανής. Το δεύτερο πεδίο δημιουργείται στον δρομέα της μηχανής από το περιστρεφόμενο τύλιγμα τυμπάνου, που συνιστά έναν ηλεκτρομαγνήτη. Βασικό ρόλο στη λειτουργία της μηχανής συνεχούς ρεύματος παίζει ο συλλέκτης. Ο ρόλος του συλλέκτη είναι να αντιστρέφει τη φορά του



ηλεκτρικού ρεύματος τυμπάνου δύο φορές σε κάθε κύκλο, έτσι ώστε να αντιστρέφεται η πολικότητα του ηλεκτρομαγνήτη τυμπάνου την κατάλληλη χρονική στιγμή (όταν οι δύο αντίθετοι μαγνητικοί πόλοι βρίσκονται απέναντι) και τελικά να αλληλεπιδρούν εις το διηνεκές μαγνητικά τα δύο πεδία. Αυτό είναι αναγκαίο αφού το τύλιγμα τυμπάνου είναι περιστρεφόμενο και χωρίς το συλλέκτη η μηχανή θα σταματούσε άμεσα την πρώτη φορά που δύο αντίθετοι πόλοι θα βρίσκονταν απέναντι

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα η μηχανή συνεχούς ρεύματος να μην διαθέτει μόνιμους μαγνήτες στον στάτη αλλά τύλιγμα ηλεκτρομαγνήτη (ως διέγερση), που αποτελεί και τη συνηθέστερη πρακτική. Η μηχανή αυτή ονομάζεται μηχανή συνεχούς ρεύματος με τύλιγμα πεδίου. Έτσι μεταβάλλοντας το ρεύμα που διέρχεται από τον ηλεκτρομαγνήτη (που ονομάζεται εναλλακτικά τύλιγμα πεδίου ή τύλιγμα διεγέρσεως) μπορούμε να μεταβάλλουμε την χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής του κινητήρα. Υπάρχουν οι εξής κατηγορίες μηχανών συνεχούς ρεύματος με τύλιγμα πεδίου ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας του τυλίγματος διέγερσης:

- **Ξένης Διέγερσης:**

Το τύλιγμα πεδίου τροφοδοτείται από ανεξάρτητη πηγή τάσης/ρεύματος δίνοντας τη δυνατότητα για πολύ εύκολο έλεγχο του πεδίου διέγερσης.

- **Διέγερσης σε Σειρά:**

Το τύλιγμα πεδίου τροφοδοτείται σε σειρά με το τύλιγμα τυμπάνου δίνοντας τη δυνατότητα για κατασκευή κινητήρων υψηλής ροπής σε μικρές ταχύτητες.

- **Παράλληλης Διέγερσης:**

Το τύλιγμα πεδίου τροφοδοτείται παράλληλα με το τύλιγμα τυμπάνου δίνοντας τη δυνατότητα για κατασκευή κινητήρων υψηλών ταχυτήτων.

- **Σύνθετης Διέγερσης:**

Το τύλιγμα πεδίου τροφοδοτείται εν μέρει σε σειρά και εν μέρει παράλληλα με το τύλιγμα τυμπάνου δίνοντας τη δυνατότητα για κατασκευή κινητήρων περίπου σταθερής ταχύτητας παρά τις μεταβολές της ροπής.

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα να μειώσουμε το ρεύμα του τυλίγματος πεδίου άρα και την ένταση του μαγνητικού πεδίου που αυτό προκαλεί, έτσι ώστε να περάσουμε σε λειτουργία « εξασθένισης πεδίου». Η κατάσταση αυτή επιτρέπει την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων από την ονομαστική με ανάλογη μείωση της ικανότητας ανάπτυξης ροπής, φυσικά.

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος παρουσιάζουν και αρκετά σημαντικά μειονεκτήματα όπως ανάγκη τακτικής συντήρησης του συλλέκτη, σχετικά μεγάλο βάρος του δρομέα, σχετικά χαμηλή μέγιστη ταχύτητα λόγω μηχανικής καταπόνησης του συλλέκτη και υψηλό κόστος κατασκευής. Γι' αυτούς τους λόγους είναι επιθυμητή η αντικατάστασή τους, όπου αυτό είναι φυσικά δυνατόν, με τους πιο αξιόπιστους και εύρωστους ασύγχρονους κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος.

Κινητήρες ακριβείας οι οποίοι τροφοδοτούνται από ηλεκτρονικό κύκλωμα. Οι πιο γνωστοί είναι οι βηματικοί κινητήρες για εφαρμογές ελέγχου θέσης και οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτες για εφαρμογές ελέγχου της ταχύτητας.

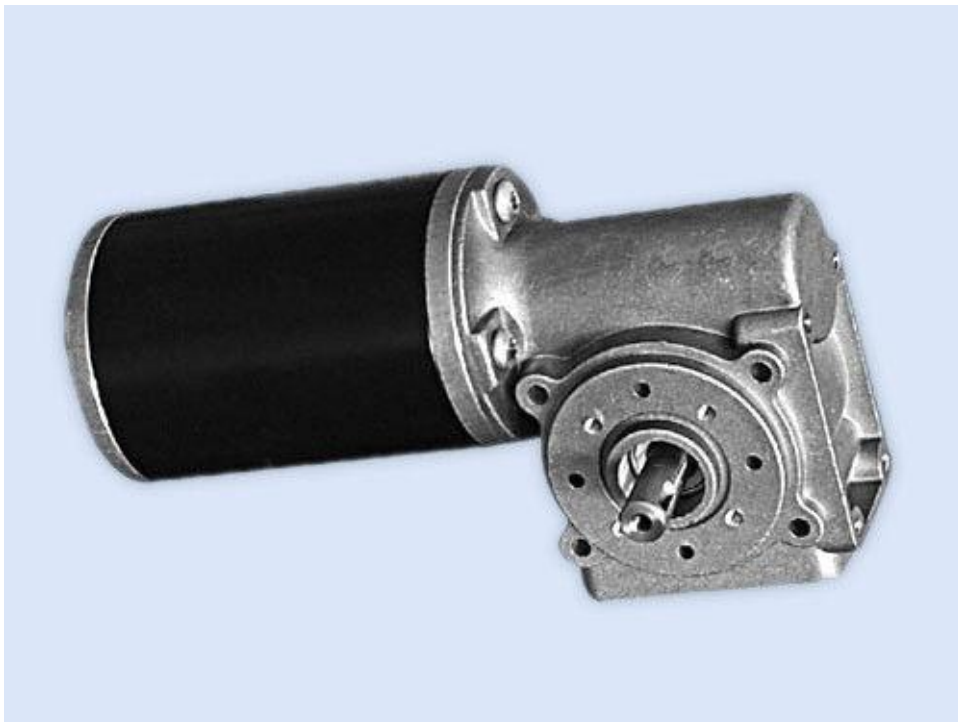
Στην κατηγορία των ειδικών κινητήρων κατατάσσονται οι κινητήρες χαμηλής ισχύος για εφαρμογές γενικής χρήσης και για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας όπως: γενικοί κινητήρες (universal), βηματικοί κινητήρες, σερβοκινητήρες, πιεζοηλεκτρικοί κινητήρες, κινητήρες υπερηχητικού κύματος, κινητήρες πλαστικοποιημένου μαγνήτη κ.α . Στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ως small electric motors ή special electric motors .

Στο αυτοκίνητο επίσης χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός κινητήρων DC που τροφοδοτούνται από τη μπαταρία. Ωστόσο , στο ίδιο αυτοκίνητο χρησιμοποιούνται και βηματικοί κινητήρες με ηλεκτρονικά κυκλώματα ελέγχου και τροφοδοσίας.

Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών, των ψηφιακών συστημάτων και των μικροεπεξεργαστών, επέτρεψαν την ανάπτυξη μοντέρνων τεχνικών ελέγχου, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη της περιοχής των ελεγχόμενων συστημάτων ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων.

Γενικά, ο έλεγχος ενός συστήματος ηλεκτρικής κίνησης είναι απαραίτητος όταν υπάρχουν συχνές μεταβολές των μεγεθών της ροπής, της ταχύτητας και της ισχύος του φορτίου για να αποφευχθεί η υπερφόρτιση του κινητήρα, η αστάθεια του συστήματος, η υπερθέρμανση και η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας. Εξάλλου, η οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας και η αύξηση του βαθμού απόδοσης με τον έλεγχο, επιτρέπουν τη χρήση κινητήρων χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος. Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος.

**Σχήμα 15:** Κινητήρας συνεχούς ρεύματος



Πηγή: [http://www.stepper-dc-motor.com/photo/pl481686\\_63jw\\_63zy105\\_24v\\_2000\\_3000rpm\\_low\\_current\\_pm\\_dc\\_worm\\_gear\\_geared\\_motor.jpg](http://www.stepper-dc-motor.com/photo/pl481686_63jw_63zy105_24v_2000_3000rpm_low_current_pm_dc_worm_gear_geared_motor.jpg)



### 3) Ειδικοί ηλεκτρικοί κινητήρες

Η προτίμηση των συστημάτων ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων οφείλεται στα πλεονεκτήματά τους, σε σχέση με άλλα συστήματα κίνησης όπως τα μηχανικά ή τα υδραυλικά. Η επιλογή αυτή εξηγείται από τα εξής πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά:

Συστήματα ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων υπάρχουν για ευρεία περιοχή ισχύος: από ισχύ μικρότερη του 1 (W) ( ηλεκτρονικά ρολόγια ) μέχρι ισχύ μερικών ίππων.

Τα συστήματα αυτά προσφέρουν ευρεία περιοχή ταχυτήτων: από μηδέν μέχρι 100.000 (ΣΑΛ).

Προσαρμόζονται σε διάφορες λειτουργικές καταστάσεις όπως: σε κλειστά, χωρίς αερισμό, σε υγρά, σε εκρηκτικά, σε ραδιενεργά περιβάλλοντα. Επίσης δεν χρειάζονται καύσιμα, δεν εκπέμπουν καυσαέρια και ο θόρυβος που δημιουργούν είναι χαμηλότερος από άλλα συστήματα.

Τα συστήματα κίνησης μπορούν να φορτιστούν αμέσως, δεν χρειάζονται προθέρμανση, έχουν χαμηλές απώλειες, υψηλή απόδοση και έχουν τη δυνατότητα προσωρινής υπερφόρτισης.

Τα συστήματα κίνησης είναι ελεγχόμενα, οι χαρακτηριστικές μόνιμης κατάστασης μπορούν να αλλάζουν εάν χρειάζεται και έχουν καλή δυναμική επίδοση η οποία επιτυγχάνεται με ηλεκτρονικό έλεγχο.

Κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία σχεδίων κατά εφαρμογή. Βέβαια, τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης παρουσιάζουν και μειονεκτήματα, μερικά από τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια:

Η εξάρτηση από την ηλεκτρική πηγή τροφοδότησης δημιουργεί δυσκολίες προ παντός στα αυτοκίνητα. Έτσι, μία πηγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να βρίσκεται πάντα μέσα στο αυτοκίνητο .

Η ύπαρξη του φαινομένου του μαγνητικού κορεσμού και η ανάγκη ψύξης είναι η αιτία για την οποία έχουν χαμηλότερο λόγο ισχύος προς βάρος μηχανής από τα υδραυλικά συστήματα κίνησης. Αυτό είναι σημαντικό στα συστήματα ελέγχου θέσης στα αεροπλάνα .

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

### 3 ΓΡΑΝΑΖΙΑ

Το γρανάζι χρησιμεύει για την μετάδοση της κίνησης, ως μέρος μηχανικού συνόλου και αυτό γιατί είναι πολύ εύχριστο. Έχει την μορφή τροχού μόνο που είναι οδοντωτός (βλ. Σχήμα 16).

**Σχήμα 16:** Γρανάζι



**Πηγή:** <http://www.24grammata.com/?p=17935>

Η λέξη γρανάζι προέρχεται από την γαλλική λέξη engranage < en + grain < (λατ. granum: σιτάρι). Λογική απόρεια είναι τι σχέση έχει το γρανάζι των μηχανών με το σιτάρι (granum); Η επικρατέστερη εκδοχή είναι ότι τα γρανάζια πρωτοχρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή μηχανημάτων αλέσματος (μύλους) του σιταριού, όπου και ρύθμιζε την τροφοδοσία του σιταριού για το άλεσμα, άποψη που υποστήριζε και το Ιταλικό λεξικό του Tulio de Mauro. Ορισμένοι όμως πιστεύουν ότι το όνομα προήλθε από τα δόντια των γραναζιών, τα οποία είχαν το σχήμα του σιταριού.

Ο μικρός οδοντωτός τροχός (ή σφαίρα) των γραναζιών ονομάζεται πινιόν (αγγλ.: pinion, γερμ.: Kegelrad, ιταλ.: pignone, πρόκειται, συνήθως, για μικρό σφαιρικό γρανάζι. Η λ. σημαίνει: κουκουνάρι και ονομάστηκε έτσι, λόγω του σχήματος- pine: πεύκο-). Ο μεγάλος τροχός του γραναζιού ονομάζεται κορώνα.

Στην καθημερινότητα μας τα γρανάζια βρίσκονται άφθονα παντού. Ένα απλό παράδειγμα είναι το αυτοκίνητο όπου έχουμε πληθώρα από γρανάζια, μερικά από αυτά είναι το γρανάζι αλλαγής ταχυτήτων, του διαφορικού, του κινητήριου, του πρωτεύοντα άξονα, της μίζας και πολλά άλλα. (Κρητικός, 2012)

#### 3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο μικρός οδοντωτός τροχός (ή σφαίρα) των γραναζιών ονομάζεται πινιόν (αγγλ.: pinion, γερμ.: Kegelrad, ιταλ.: pignone, πρόκειται, συνήθως, για μικρό σφαιρικό γρανάζι. Η λέξη σημαίνει: κουκουνάρι και ονομάστηκε έτσι, λόγω του σχήματος-

rine: πεύκο-). Ο μεγάλος τροχός του γραναζιού ονομάζεται κορώνα (Κρητικός, 2012).

Στα πρώτα αυτοκίνητα η αλλαγή των ταχυτήτων γινόταν με ένα σύστημα γραναζιών μη συγχρονισμένων (δηλαδή, ο οδηγός με το γκάζι ρύθμιζε τις στροφές των γραναζιών που κινούνται απ'ευθείας από τον κινητήρα, ώστε να τα συγχρονίσει με τα γρανάζια της ταχύτητας που επιθυμούσε να βάλει). Σε διαφορετική περίπτωση η ταχύτητα δεν έμπαινε.

Όταν αναφερόμαστε στην ιστορία του γραναζιού δεν μπορούμε να μην αναφερθούμε στο αρχαιότερο και μοναδικό(!) γρανάζι της αρχαιότητας, που δεν είναι άλλο από το μηχανισμό (αναφέρεται και ως αστρολάβος ή υπολογιστής) των Αντικυθήρων (βλ. Σχήμα 17). Είναι φτιαγμένος από χαλκό και περικλείεται από ένα ξύλινο πλαίσιο. Πρόκειται για ένα ωρολογιακό μηχανισμό που υπολόγιζε τις κινήσεις των ουρανίων σωμάτων. Έφερε 32 γρανάζια με άξονες και δείκτες, που ο καθένας κινούνταν με διαφορετική ταχύτητα. Χρονολογείται γύρω στο 87 π.Χ., ενώ ανάλογοι μηχανισμοί «πρωτοεμφανίστηκαν» στη Δ. Ευρώπη το 13ο μ.Χ. αιώνα. Ο μηχανισμός ανακαλύφθηκε από σφουγγαράδες, το 1900, σε ναυάγιο ανοιχτά των Αντικυθήρων. Σήμερα, φυλάσσεται στο Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών. Τα αρχαία κείμενα κάνουν αναφορά στα γρανάζια του Αρχιμήδη (287– 212 π.Χ.), του Ευκλείδη (365- 300 π.Χ.), του Κτησίβιου του Αλεξανδρέα (β' αιων. π.Χ.), του Ήρωνα του Αλεξανδρέα (α' αιων. π.Χ.) και πολλών άλλων. Ο Κικέρων (106–43 π.Χ.) αναφέρει αναφέρει ότι μετά την κατάκτηση των Συρακουσών μεταφέρθηκε στη Ρώμη το πλανητάριο του Αρχιμήδη. Ο Κικέρων περιγράφει το μηχανισμό, που, δυστυχώς χάθηκε ( De la republica, I, 14, 21- 22. Tusculanae disputationes, I, 63).

**Σχήμα 17:** Ο “Μηχανισμός των Αντικυθήρων”



Πηγή: <http://www.24grammata.com/?p=17935>

Από το β' αιων.μ.Χ. ένα παράξενο σκοτάδι σκεπάζει τη μηχανολογία για να γλυκοχαράξει, πολλούς αιώνες αργότερα, με τις ιδιοφυΐες των: Leonardo da Vinci

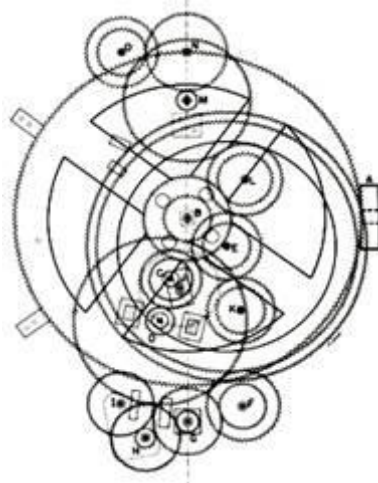
(1452- 1519), Galileo (1564 – 1642), Newton ( 1643- 1727) και τα ονόματα απ' εδώ και πέρα δε θα έχουν τέλος (Κρητικός, 2012).

### 3.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΓΡΑΝΑΖΙΑ

Οι οδοντωτοί τροχοί (κοινώς γρανάζια) χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μετάδοση κίνησης από έναν άξονα σε έναν άλλο. Για πρώτη φορά σαφή αναφορά στους οδοντωτούς τροχούς έχουμε από τον Έλληνα μηχανικό και γεωμέτρη Ήρωνα που έζησε στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου περίπου τον 1ο π.Χ ή 1ο μ.Χ αιώνα.

Ο γνωστός «Μηχανισμός των Αντικυθήρων» (βλ. Σχήμα 18) είναι η αρχαιότερη σωζόμενη διάταξη με γρανάζια και έχει προβληματίσει και συναρπάσει πολλούς ιστορικούς της επιστήμης και της τεχνολογίας αφότου ανακαλύφθηκε. Πρόκειται για ένα αστρονομικό μηχάνημα ακριβείας, τοποθετημένο σε ένα ξύλινο κιβώτιο και αποτελούμενο από 30 αλληλοεμπλεκόμενους οδοντωτούς τροχούς.

**Σχήμα 18:** Σχηματοποίηση του «Μηχανισμού των Αντικυθήρων»



**Πηγή:** <http://makolas.blogspot.gr/2011/06/scratch.html>

Οι οδοντωτοί τροχοί βρίσκουν εφαρμογή τόσο στο κιβώτιο ταχυτήτων του αυτοκινήτου (βλέπε το ένθετο στο βιβλίο Φυσικής Θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης της Γ' Λυκείου, σελ. 148-150) όσο και στο σύστημα μετάδοσης κίνησης στο ποδήλατο (συνδυασμός μαντοκίνησης και οδοντωτών τροχών, όπου η αλυσίδα έχει αντικαταστήσει τον ιμάντα).

Στην εκπαίδευση τα γρανάζια παίζουν σημαντικό ρόλο. Στη διδασκαλία Ρομποτικής τα γρανάζια (βλ. Σχήμα 19) συνιστούν ένα από τα προνομιάχα αντικείμενα.

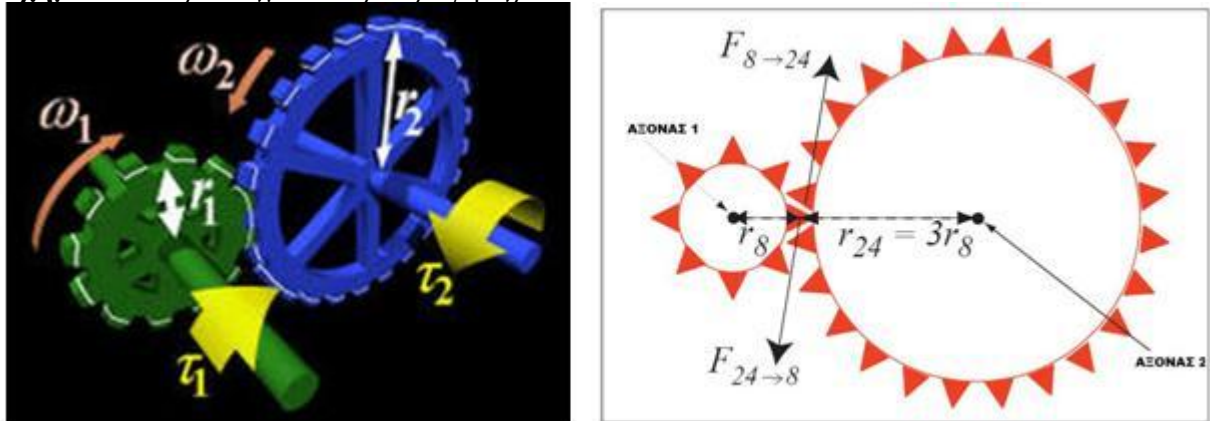
**Σχήμα 19:** Προνόμια στη χρήση των γραναζιών



Πηγή: LEGO Mechanisms: Gears and Motors  
<http://www.cs.bham.ac.uk/internal/courses/robotics/lectures/Gears.pdf>

Το απλούστερο σύστημα μελέτης των οδοντωτών τροχών περιλαμβάνει δύο γρανάζια που το ένα συναρμολύει με ένα άλλο και περιστρέφονται με αντίθετες φορές. Το πρώτο γρανάζι (κινητήριο) έχει έναν αριθμό δοντιών  $\Delta_1$  και γωνιακή ταχύτητα  $\omega_1$  και μεταδίδεται ισχύς στο δεύτερο γρανάζι (κινούμενο) (Βλ. παραδείγματα στο Σχήμα 20) που έχει  $\Delta_2$  δόντια και γωνιακή ταχύτητα  $\omega_2$ . Για να περιστρέφεται ομαλά, γύρω από άξονα, στο κινητήριο γρανάζι θα πρέπει να ασκείται ροπή στρέψης.

Σχήμα 20: Παραδείγματα περιστροφής γραναζιών



Πηγή: <http://makolas.blogspot.gr/2011/06/scratch.html>

Είναι γνωστό ότι:

α) στα σημεία επαφής οι δύο οδοντωτοί τροχοί έχουν την ίδια γραμμική ταχύτητα δηλαδή  $v_1 = v_2$  οπότε  $\omega_1 * r_1 = \omega_2 * r_2$ .

Με άλλα λόγια ισχύει η πρόταση:

«Ο λόγος των γωνιακών ταχυτήτων των γραναζιών είναι αντιστρόφως ανάλογος με το λόγο των ακτινών»

β) Επειδή η ισχύς που δίνεται από το πρώτο γρανάζι είναι ίση με την ισχύ που δίνεται από το δεύτερο θα ισχύει:

$$\tau_1 * \omega_1 = \tau_2 * \omega_2$$

γ) Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δόντια των γραναζιών είναι ίδια σε μέγεθος





συμπεραίνουμε ότι ο λόγος των περιφερειών τους είναι ίσος με το λόγο των δοντιών τους. Αυτό μας οδηγεί σε ένα άλλο πιο ενδιαφέρον συμπέρασμα:

$$\omega_1 / \omega_2 = \Delta_2 / \Delta_1$$

«Οι γωνιακές ταχύτητες των δύο οδοντωτών τροχών είναι αντιστρόφως ανάλογες των αριθμών των δοντιών τους».

Αυτός ο λόγος αποτελεί το «λόγο μετάδοσης»  $m = \Delta_2 / \Delta_1$  και χρησιμοποιείται για την άμεση εξαγωγή συμπερασμάτων όπως για παράδειγμα:

1. Από μικρά/μεγάλα σε μεγαλύτερα/μικρότερα γρανάζια έχουμε αύξηση/ελάττωση της ροπής κατά ένα παράγοντα ίσο με το λόγο μετάδοσης

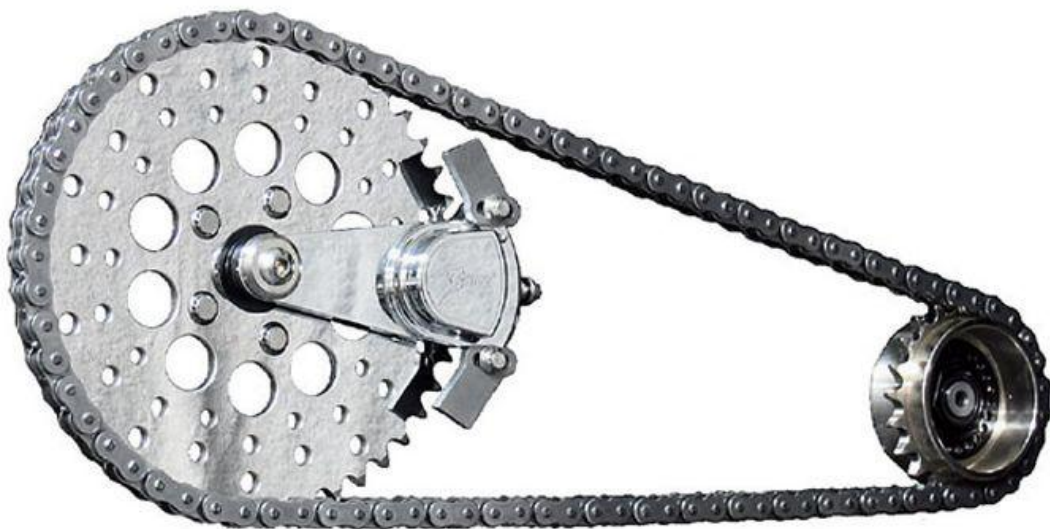
2. Από μικρά/μεγάλα σε μεγαλύτερα/μικρότερα γρανάζια έχουμε ελάττωση/αύξηση της γωνιακής ταχύτητας κατά ένα παράγοντα ίσο με το λόγο μετάδοσης.

Στον πυρήνα του προγράμματος αξιοποιήσαμε δύο από τις παραπάνω γνώσεις  $m = \Delta_2 / \Delta_1$  και  $\omega_1 / \omega_2 = \Delta_2 / \Delta_1$ . (Δαπόντες, 2011)

### 3.3. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΓΡΑΝΑΖΙΑ ΚΑΙ ΑΛΥΣΙΔΑ

Στο Σχήμα 21 παρουσιάζεται η μετάδοση της κίνησης στα γρανάζια και την αλυσίδα:

**Σχήμα 21:** *Μετάδοση της κίνησης στα γρανάζια και την αλυσίδα*



Πηγή: [http://www.mototriti.gr/data/news/preview\\_news/94215.asp#photo1](http://www.mototriti.gr/data/news/preview_news/94215.asp#photo1)



Οι τελικοί αποδέκτες της ισχύος του κινητήρα, πριν αυτή φτάσει στον τροχό, είναι το σύστημα τελικής μετάδοσης, δηλαδή (στην περίπτωση μοτοσυκλετών και παπιών) τα γρανάζια και η αλυσίδα.

Πολλές φορές έχουμε ακούσει την έκφραση «κοντή» και «μακριά» σχέση μετάδοσης. Εκτός από τις σχέσεις του κιβωτίου, στις οποίες δε μπορεί να επέμβει – τουλάχιστον όχι εύκολα – ο κοινός... θνητός, η παραπάνω έκφραση συνήθως αναφέρεται στην τελική σχέση μετάδοσης, δηλαδή σε αυτή που σχηματίζεται ανάμεσα στα γρανάζια που μεταδίδουν την κίνηση στον τροχό. Τι ακριβώς, όμως, σημαίνει κοντή και μακριά σχέση και πώς επιδρά αυτή στις επιδόσεις των μοτοσυκλετών;

Αρχικά, πρέπει να δούμε τι ακριβώς είναι η σχέση μετάδοσης. Αρκετά απλοποιημένα, μπορούμε να πούμε ότι κάθε γρανάζι έχει μια διάμετρο εξωτερική. Ο λόγος των διαμέτρων δύο συνεργαζόμενων γραναζιών καλείται σχέση μετάδοσης. Για παράδειγμα, αν ένα γρανάζι με διάμετρο 10 χλστ. μεταδίδει κίνηση σε ένα γρανάζι με διάμετρο 20 χλστ., η σχέση μετάδοσης μεταξύ τους είναι  $10/20 = \frac{1}{2} = 0,5$  (σχέση υποπολλαπλασιασμού). Έχει μεγάλη σημασία από ποιο γρανάζι μεταδίδεται η κίνηση. Αν σε αυτή την περίπτωση μεταδιδόταν από το δεύτερο γρανάζι στο πρώτο, η σχέση θα ήταν  $20/10=2$ . Επειδή η διάμετρος του γραναζιού συνδέεται αναλογικά με το μήκος της περιμέτρου του, στην οποία βρίσκονται τα δόντια, η σχέση μετάδοσης μπορεί να εκφραστεί και με τον αριθμό των δοντιών κάθε γραναζιού. Δηλαδή, αν στα παραπάνω γρανάζια αυτό που μεταδίδει την κίνηση έχει 20 δόντια και το δεύτερο 40, η σχέση μετάδοσης είναι επίσης  $20/40 = 0,5$ . Η σχέση μετάδοσης φανερώνει πόσο μεταβάλλεται ο αριθμός των στροφών που περιστρέφεται το δεύτερο γρανάζι. Η αντίστροφη τιμή της ( $1/0,5=2$ ) δείχνει πόσες φορές πολλαπλασιάζεται η ροπή που φτάνει στο δεύτερο γρανάζι.

Ας θεωρήσουμε ότι στα δύο παραπάνω γρανάζια αυτό με τα 10 δόντια είναι στον κινητήρα (εμπρός γρανάζι) και αυτό με τα 20 δόντια στον πίσω τροχό (πίσω γρανάζι). Αν το εμπρός περιστρέφεται με  $200 \times 0,5=100$  σ.α.λ., αυτόματα, η ροπή που φτάνει στον πίσω τροχό είναι η διπλάσια από αυτή που περιστρέφει το εμπρός γρανάζι. Από το παραπάνω γεγονός, βλέπουμε ότι, μικραίνοντας – ή κονταίνοντας – τη σχέση μετάδοσης (κοντή σχέση), μεγαλώνει η ροπή που φτάνει στον πίσω τροχό, αλλά αυτομάτως αυτός περιστρέφεται με λιγότερες στροφές. Δηλαδή, η μοτοσυκλέτα έχει περισσότερη δύναμη στον τροχό, αλλά πηγαίνει με μικρότερη ταχύτητα. Φυσικά, ισχύει και το αντίστροφο: μεγαλώνοντας – ή μακραίνοντας – τη σχέση μετάδοσης (μακριά σχέση), ο πίσω τροχός περιστρέφεται γρηγορότερα, αλλά με μικρότερη δύναμη. Δηλαδή, η μοτοσυκλέτα πηγαίνει γρηγορότερα, αλλά στο πρώτο εμπόδιο (για παράδειγμα, ανηφόρα), θα χάσει εύκολα ταχύτητα.

Στις μοτοσυκλέτες δρόμου η σχέση τελικής μετάδοσης έχει τέτοια τιμή, ώστε η τελική ταχύτητα να επιτυγχάνεται στις στροφές μέγιστης ιπποδύναμης του κινητήρα. Σε άλλη περίπτωση, η τελική ταχύτητα είναι μικρότερη από τη μέγιστη δυνατή. Όπως

γίνεται φανερό, σε περίπτωση που απαιτείται γρηγορότερη επιτάχυνση, η τελική σχέση κοντύνει, ενώ αν απαιτείται μεγαλύτερη τελική ή χαμηλότεροι ρυθμοί περιστροφής του κινητήρα, η τελική σχέση μακραίνει. Ένα σημείο που απαιτεί προσοχή είναι το εξής: για να κοντύνει η σχέση μετάδοσης, μικραίνει το εμπρός γρανάζι ή μεγαλώνει το πίσω Βλ. Σχήμα 22). Για να μακρύνει, μεγαλώνει το εμπρός ή μικραίνει το πίσω

**Σχήμα 22:** Σχέση μετάδοσης και γραναζιού



Πηγή: ([http://www.mototriti.gr/data/news/preview\\_news/94215.asp#photo2](http://www.mototriti.gr/data/news/preview_news/94215.asp#photo2))

## 4. ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ

Ο ηλεκτρονόμος, ρελέ (relay) ή ρελές (<http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρονόμος>) είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα κάτω από τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Στην αρχική μορφή του, ένας ηλεκτρομαγνήτης ενεργοποιούσε το διακόπτη, με το άνοιγμα ή κλείσιμο μιας ή περισσότερων επαφών. Εφευρέθηκε από τον Τζόζεφ Χένρυ το 1835. Επειδή ένας ηλεκτρονόμος είναι ικανός να ελέγχει ένα κύκλωμα εξόδου υψηλότερης ισχύος από το κύκλωμα εισόδου, μπορεί να θεωρηθεί, γενικά, μια μορφή ηλεκτρικού ενισχυτή.

Κάθε επαφή ενός ηλεκτρονόμου μπορεί να είναι Κανονικά-Ανοικτή (Normally Open, NO), Κανονικά-Κλειστή! (Normally Closed, NC) ή μεταγωγικός (change-over), ανάλογα με τον τύπο της.

Μια επαφή Κανονικά-Ανοικτή συνδέει το κύκλωμα όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται· το κύκλωμα αποσυνδέεται όταν ο ηλεκτρονόμος είναι ανενεργός.

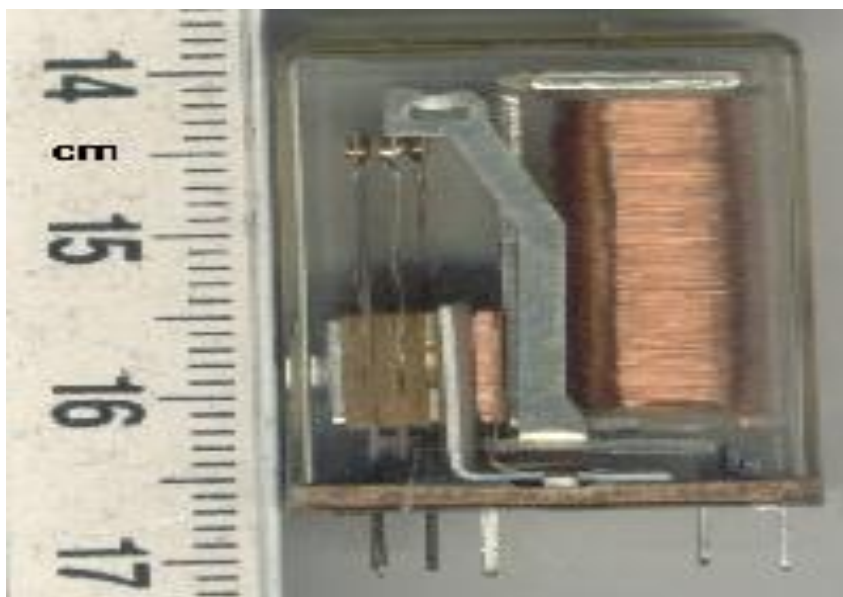
Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης Επαφή Μορφής Α ή επαφή "make". Η επαφή μορφής Α είναι τέλεια για εφαρμογές που απαιτούν την ενεργοποίηση μιας πηγής υψηλής τάσης από απόσταση.

Μια επαφή Κανονικά-Κλειστή αποσυνδέει το κύκλωμα όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται· το κύκλωμα συνδέεται όταν ο ηλεκτρονόμος είναι ανενεργός. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης Επαφή Μορφής Β ή επαφή "break" (διακοπή). Η επαφή μορφής Β είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν το κύκλωμα να παραμένει κλειστό (ενεργό) μέχρι ο ηλεκτρονόμος να ενεργοποιηθεί.

Μια επαφή Μεταγωγική μπορεί να ελέγχει δύο κυκλώματα. Ισοδυναμεί με μια επαφή κανονικά-ανοικτή και μια επαφή κανονικά-κλειστή που έχουν ένα κοινό ακροδέκτη. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης Επαφή Μορφής C.

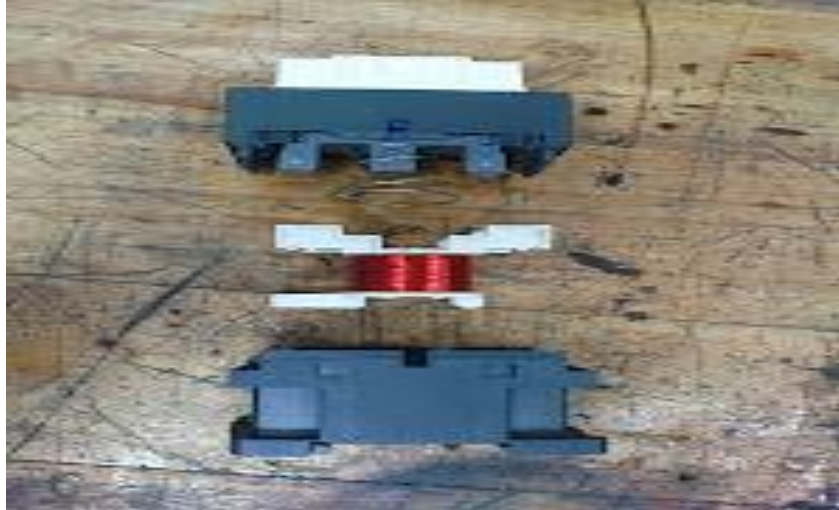
Συνήθως ένας ηλεκτρονόμος αποτελείται από περισσότερες από μία ελεγχόμενες επαφές. Οι επαφές χωρίζονται σε κύριες και βοηθητικές. Οι κύριες διαρρέονται συνχά από ισχυρότερα ρεύματα και έτσι είναι αυτές που διακόπτουν το κύριο κύκλωμα και συνήθως είναι Κανονικά-Ανοικτές. Οι βοηθητικές έχουν όπως υπονοεί και το όνομά τους επικουρικό χαρακτήρα και ο ρόλος τους είναι να βοηθούν στον έλεγχο των αυτοματισμών (που είναι ο κύριος τομέας χρήσης των ηλεκτρονόμων). Για παράδειγμα βοηθούν στην ενεργοποίηση/απενεργοποίηση βοηθητικών κυκλωμάτων όπως ενδεικτικές λυχνίες (Βλ. Παραδείγματα στο Σχήμα 23).

**Σχήμα 23:** Περιπτώσεις Ηλεκτρονόμων ή Ρελέ





Πηγή:<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Relay2.jpg>



Πηγή:<http://greekelectrician.blogspot.gr/2011/01/blog-post.html>

#### 4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το 1834 αρχίζει η ιστορία του διακόπτη με τηλεχειρισμό (Φραγκόπουλος, 2012)! Ο Φυσικός Charles Wheatstone (Γουίτστοουν, 1802-1875) δημοσίευσε μια επινόηση που αφορούσε ένα διακόπτη με διαφορετικό κύκλωμα ελέγχου από το κύκλωμα διελεύσεως του ρεύματος. Αυτός ο διακόπτης ονομάστηκε *relais* και με αυτό το όνομα διαδόθηκε και έμεινε στην Τεχνική. Ρελαί ονομάζονταν εκείνη την εποχή στην Αγγλία τα χάνια που ξεκουράζονταν οι αμαξάδες και άλλαζαν τα άλογα στις άμαξες.

Το ρελαί του Γουίτστοουν αποτελείτο από ένα πηνίο, το οποίο, όταν διαρρέοταν από ρεύμα, τράβηγε στο εσωτερικό του μία λεπτή μεταλλική ράβδο, η οποία με τη σειρά της ενεργοποιούσε δύο επαφές που έκλειναν κύκλωμα μέσα σε δοχείο υδραργύρου σε μια εποχή που ήταν πολύ διαδεδομένη η χρήση του υδραργύρου, ενός μετάλλου ρευστού σε θερμοκρασία δωματίου, χωρίς να είναι γνωστές οι επιπτώσεις στην υγεία από τις δηλητηριώδεις αναθυμιάσεις του. Πολλοί επιστήμονες υπέστησαν μόνιμες βλάβες στην υγεία τους, ανάμεσά τους και ο Φαρανταί, ο οποίος προσεβλήθη από αμνησία και αναζητούσε λύσεις σε τεχνικά προβλήματα, τα οποία είχε ήδη διερευνήσει ο ίδιος με επιτυχία.

Ο Γουίτστοουν έγινε ακόμα γνωστός για διάφορες τεχνικές μετρήσεων με ηλεκτρικές γέφυρες που εισήγαγε. Η τεχνική βελτίωση του ρελαί προήλθε από τον Samuel F.B.Morse (Μορς, 1791-1972) το έτος 1838. Σ' αυτό το ρελαί ο οπλισμός του μαγνήτη έκλεινε το κύκλωμα, όταν βρισκόταν σε έλξη και το άνοιγε με τη βοήθεια ενός ελατηρίου, όταν δεν περνούσε ρεύμα από το πηνίο. Με γενικότερη θεώρηση, αυτή η συσκευή αποτελούσε ένα ηλεκτρομηχανικό ενισχυτή: Με μικρή ποσότητα



ενέργειας, όσο απαιτείται για να ενεργοποιηθεί ένα ρελαί, έκλεινε το κύκλωμα και επέτρεπε τη διέλευση ισχυρών ρευμάτων.

Αυτή η αρχή ενισχύσεως εφαρμόζεται διαρκώς στην Τεχνική μέχρι των ημερών μας: Π.χ. ο πιλότος ενός αεροπλάνου εφαρμόζει μικρή δύναμη σε χειριστήρια και πετυχαίνει την εξάσκηση σημαντικών δυνάμεων στους κινητήρες ή στα πτερύγια του αεροπλάνου, το ίδιο ο καπετάνιος ενός πλοίου κτλ. Η ηλεκτρονική υλοποίηση της λειτουργία του ρελαί ήταν αρχικά η τρίοδη λυχνία και αργότερα το τρανζίστορ.

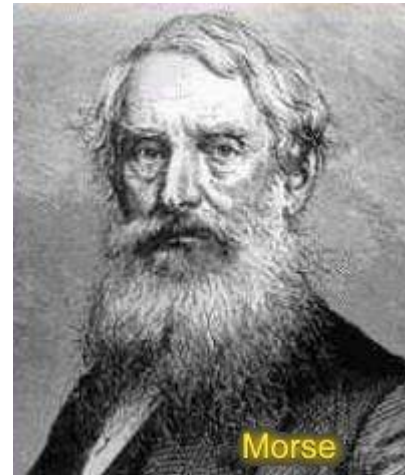
#### Ο ενσύρματος τηλεγράφος, Morse

Ο Μορς χρησιμοποίησε το ρελαί (ή ρελέ) που κατασκεύασε για να εξοπλίσει τον ηλεκτρομαγνητικό τηλεγράφο του με ταινία. Με τη συνεχή αποστολή μακρών και βραχέων σημάτων (ρευμάτων) πέτυχε να μεταφέρει χαραγμένα μηνύματα σε όποια απόσταση επέτρεπαν οι γραμμές μεταφοράς. Βέβαια, αυτή η κατασκευή θα ήταν άχρηστη, αν ο Μορς δεν είχε επινοήσει επίσης ένα κώδικα για τα γράμματα του αλφαβήτου, τους 10 αραβικούς αριθμούς και τα σημεία στίξης. Επειδή ο χρόνος διελεύσεως του ρεύματος καθόριζε το μήκος μιας χαραγμένης γραμμής στη χαρτοταινία, ο κώδικας αυτός που ονομάστηκε κώδικας Μορς, αποτελείτο από ένα συνδυασμό γραμμών και τελειών για κάθε χαρακτήρα.

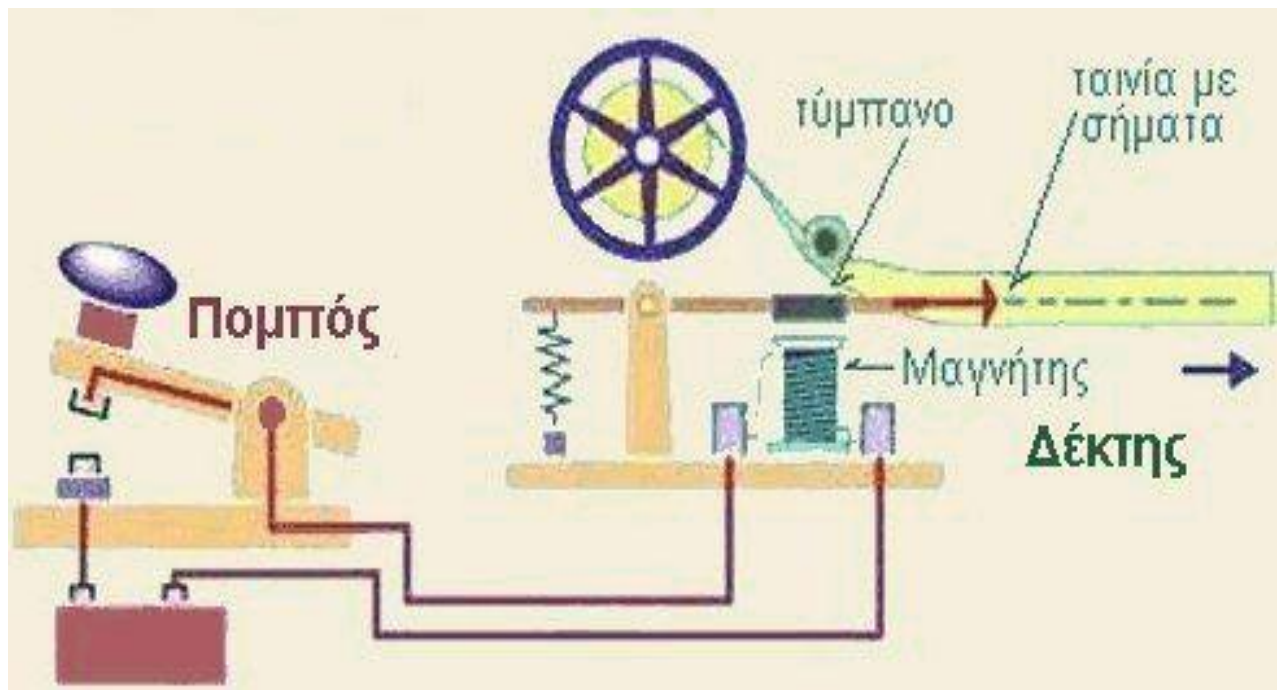
Ο Μορς ήταν επαγγελματίας ζωγράφος και κάποιο διάστημα σπούδασε συμπληρωματικά στο Λονδίνο. Από το 1825 που εγκαταστάθηκε στη Νέα Υόρκη, έγινε επιφανής ζωγράφος για τα μέλη της ανώτερης κοινωνίας της πόλης. Το 1832 επέστρεψε ο Μορς από καλλιτεχνική περιοδεία στην Ευρώπη, όταν στο πλοίο άκουσε συζητήσεις για την ανακάλυψη του ηλεκτρομαγνήτη και για πιθανές τεχνικές εφαρμογές του στην τηλεγραφία.

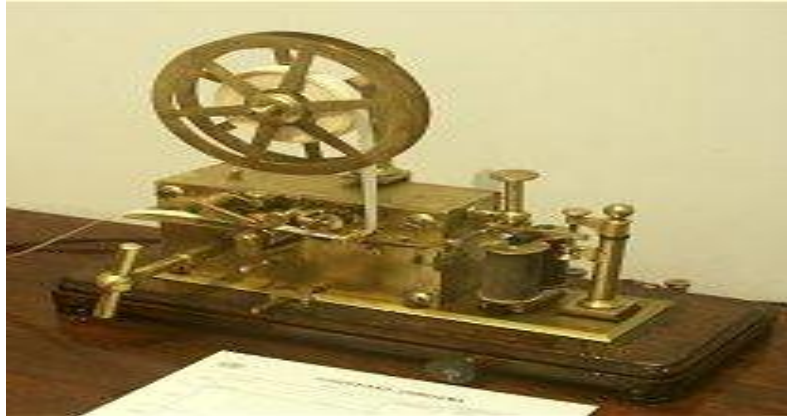
Την εποχή εκείνη γίνονταν εκτεταμένες συζητήσεις στα σαλόνια και τις συναναστροφές για τις συνεχείς εφευρέσεις και επινοήσεις με το μαγνητισμό και τον ηλεκτρισμό και την επιστημονική σημασία τους, καθώς και τις επιπτώσεις στην κοινωνία, την οικονομία κτλ., περίπου όπως γίνεται τώρα με την Πληροφορική, τη Γενετική κ.ά. Λόγω της ερασιτεχνικής σχέσης του με το αντικείμενο του ηλεκτρομαγνητισμού, υπέθεσε ο Μορς ότι η ιδέα του τηλεγράφου ήταν νέα και, μόλις επέστρεψε στη Νέα Υόρκη, επιδόθηκε σε προσπάθειες για κατασκευή ενός συστήματος ηλεκτρομαγνητικής τηλεμετάδοσης σημάτων.

Το έτος 1835 είχε ολοκληρώσει ο Μορς την κατασκευή ενός μοντέλου τηλεγράφου στο Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης, όπου δίδασκε καλλιτεχνικά θέματα. Επειδή δε ο ζωγράφος δεν διέθετε επαρκή οικονομικά μέσα, χρησιμοποίησε στην κατασκευή ένα παλιό ρολόι και άλλα, φαινομενικά άχρηστα υλικά (βλ Σχήματα 24 και 25).



Σχήμα 24: Το σχηματικό διάγραμμα της συσκευής του Μορς



**Σχήμα 25:** Η συσκευή Μορς στο μουσείο του ΟΤΕ

**Πηγή:** Φωτογραφία συσκευής του Μορς (απο 1837) στο μουσείο του Ο.Τ.Ε

Ο κώδικας Μορς ήταν και το μεγάλο πλεονέκτημα της νέας εφεύρεσης, γιατί όλοι οι άλλοι κατασκευαστές αντίστοιχων τηλεγράφων στην Αμερική και στην Ευρώπη, προσπαθούσαν να μεταδώσουν απευθείας χαρακτήρες του αλφαβήτου. Το 1838 παρουσίασε ο Μορς δημόσια τη συσκευή του, η οποία με κατάλληλο χειρισμό ήταν σε θέση να μεταδώσει μέχρι 10 λέξεις το λεπτό. Τα επόμενα χρόνια παρουσιάστηκε αυτή η συσκευή σε πολλά σημαντικά πρόσωπα της πολιτικής και της οικονομίας, με στόχο να ανατεθεί η παραγωγή της σε μεγάλη κλίμακα. Η προσπάθεια συναντούσε όμως σκεπτικισμό, λόγω του νεωτερισμού της εφαρμογής και του σημαντικού κόστους των χάλκινων συρμάτων σε μεγάλες αποστάσεις.

Το 1843 πέτυχε ο Μορς, χωρίς βοήθεια άλλων προσώπων, να πάρει ανάθεση από το Κογκρέσο των ΗΠΑ για την κατασκευή τηλεγραφικής σύνδεσης μεταξύ Βαλτιμόρης και της πρωτεύουσας Ουάσιγκτον. Αυτή η εγκατάσταση ολοκληρώθηκε το 1844, περιελάμβανε ενδιάμεσες ενισχύσεις των ηλεκτρικών σημάτων και ήταν η πρώτη στην ιστορία ενσύρματη τηλεγραφική σύνδεση δύο απομακρυσμένων σημείων στο χάρτη - ανεξάρτητη από τα καιρικά φαινόμενα, αλλά υποκείμενη σε εχθρικές παρεμβάσεις στις γραμμές μεταφοράς (σαμποτέρ, Ινδιάνοι κλπ.)

Πάντως, έκτοτε υπήρξε ραγδαία βελτίωση του μηχανισμού και εξέλιξη των διαδικασιών επικοινωνίας και όλο περισσότερες πόλεις των ΗΠΑ συνδέονταν τηλεγραφικά μεταξύ τους, ενώ παράλληλα εγκαταστάθηκε τηλεγραφικό δίκτυο κατά μήκος των γραμμών του σιδηροδρόμου. Με την ευρύτερη εγκατάσταση αυτού του τηλεπικοινωνιακού μέσου δημιουργήθηκε και το επάγγελμα του τηλεγραφήτη και παράλληλα ιδρύθηκαν σχολές για την εκπαίδευσή τους.

Ο τηλεγράφος του Μορς και το δίκτυό του αποτελεί ένα ακόμα παράδειγμα, πώς μία τεχνική εφεύρεση επηρεάζει την οικονομία, τις συνήθειες μιας κοινωνίας, την επαγγελματική εκπαίδευση και την απασχόληση. Η αμέσως προηγούμενη εφεύρεση





με όμοιες επιπτώσεις ήταν αυτή της ατμομηχανής. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της εφεύρεσης του Μορς είναι ότι αποτελεί την πρώτη αμιγώς αμερικάνικη εφεύρεση, η οποία επεκτάθηκε στη συνέχεια στην Ευρώπη. Έκτοτε η Αμερική παίρνει, αργά αλλά σίγουρα, τα ηνία στην τεχνολογική και τη συνεπαγόμενη οικονομική εξέλιξη του πλανήτη.

Οι προσπάθειες του Μορς να εγκαταστήσει το τηλεγραφικό του σύστημα στην Ευρώπη δεν ευδοκίμησαν αρχικά, επειδή εδώ, ιδίως στη Γαλλία, υπήρχε ήδη ένα εκτεταμένο δίκτυο των οπτικών τηλεγράφων Σαπέ που ήταν μεν τεχνικά και λειτουργικά κατά πολύ υποδεέστεροι, των οποίων το κόστος δεν είχε όμως ακόμα αποσβεσθεί. Από το έτος 1845 άρχισε πάντως να εγκαθίσταται η πρώτη γραμμή τηλεγράφου Μορς μεταξύ Παρισιού και Ρουέν. Το 1845 εγκαταστάθηκαν οι πρώτες τηλεγραφικές συνδέσεις στην Αγγλία (Λονδίνο-Πόρτσμουθ) και στην Ολλανδία.

Άλλοι τύποι τηλεγράφων σε ηλεκτρική βάση που είχαν κατασκευαστεί από Ευρωπαίους Φυσικούς και τεχνικούς (Wenckenbach κ.ά.) αποδείχθηκαν στις πρώτες προσπάθειες υποδεέστεροι του τηλεγράφου που επινόησε ο ζωγράφος Μορς. Όμως μία εταιρία σιδηροδρόμων υιοθέτησε ένα τηλέγραφο με δείκτη του Γουίτστοουν, ο οποίος ίδρυσε την εταιρία Electronic Telegraph Company για την κατασκευή και εγκατάσταση των γραμμών επικοινωνίας σε ξύλινες κολώνες κατά μήκος σιδηροδρομικών γραμμών.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1840 άρχισε η πρόσικη στρατιωτική διοίκηση να μελετάει την αντικατάσταση των οπτικών τηλεγράφων με ηλεκτρικούς. Αυτές τις προσπάθειες πληροφορήθηκε ο αξιωματικός του πυροβολικού Werner Siemens (Ζήμενς, 1816-1892) και παρουσίασε το 1846 ένα μοντέλο τηλεγράφου που είχε κατασκευάσει ως ερασιτέχνης ερευνητής. Επρόκειτο για μια βελτιωμένη παραλλαγή του τηλεγράφου με δείκτη του Γουίτστοουν. Βασική αρχή λειτουργίας αυτού του τηλεγραφικού συστήματος ήταν ότι στον πομπό και στο δέκτη γύριζε σύγχρονα ένας δείκτης πάνω σε μια πλάκα με τα γράμματα του αλφαβήτου, τα οποία ήταν σημειωμένα πάνω σε πλήκτρα με διακόπτη. Με το πάτημα κάθε γράμματος (πλήκτρου) διακοπτόταν το ρεύμα και η κίνηση του δρομέα και αυτή η διακοπή μεταδιδόταν στον δέκτη. Ο χειριστής του δέκτη κατέγραφε τα σημεία (γράμματα) που σταμάταγε ο δείκτης και είχε μπροστά του το μήνυμα. Κάθε συσκευή ήταν ταυτόχρονα πομπός και δέκτης, οπότε ο όγκος και το κόστος των συσκευών ήταν μικρό. Πλεονέκτημα αυτής της επινόησης ήταν ότι δεν χρειαζόταν κωδικοποίηση, άρα μπορούσε να στείλει ή να λάβει τηλεγραφήματα οποιοσδήποτε.

Οι πρώτες συσκευές αυτού του τηλεγράφου δείκτη του Ζήμενς κατασκευάστηκαν από τον βιομήχανο Johann Georg Halske (Χάλσκε, 1814-1890) στο Αμβούργο. Η εταιρία που ιδρύθηκε γι' αυτό το σκοπό ονομάστηκε «Siemens & Halske» και ήταν η πρώτη μιας σειράς εταιριών που είχαν ως πρώτο το όνομα του Ζήμενς. Μετά το β' παγκόσμιο πόλεμο ενοποιήθηκαν όλες αυτές οι εταιρίες σε μια πολυεθνική εταιρία με επωνυμία Siemens AG.



Την ίδια χρονιά που παρουσιάστηκαν σε εμπορικές εκθέσεις οι τηλεγράφοι του Ζήμενς, είχε φτάσει στη Γερμανία και ο τηλεγράφος του Μορς. Η απλούστερη κατασκευή αυτού του τηλεγράφου, η σχετικά εύκολη εκμάθηση του κώδικα, η δημιουργία επαγγελματιών τηλεγραφητών και άλλα σχετικά, οδήγησαν στην αποκλειστική χρήση αυτού του τηλεγράφου και στη Γερμανία. Η εταιρία του Ζήμενς ασχολήθηκε στο εξής με την κατασκευή και εγκατάσταση βελτιωμένων εκδόσεων του τηλεγράφου Μορς και δημιούργησε τις οικονομικές προϋποθέσεις και για άλλες ηλεκτρομαγνητικές κατασκευές που προέκυψαν στα επόμενα χρόνια.

Η διάδοση του τηλεγράφου Μορς και η εγκατάσταση εκτεταμένων δικτύων δημιούργησε διάφορα τεχνικά προβλήματα. Αρχικά τοποθετούνταν τα χάλκινα καλώδια γυμνά στο έδαφος, αλλά λόγω της υγρασίας προέκυπταν βραχυκυκλώματα. Τα μονωτικά υλικά της εποχής, χαρτί, βαμβάκι κτλ. δεν εξυπηρετούσαν σημαντικά, γιατί κι αυτά καταστρέφονταν με την υγρασία και κάποια πολυκαιρία. Ο Wilhelm Siemens, αδελφός του Werner που εγκαταστάθηκε στην Αγγλία και άλλαξε το όνομά του σε William, βρήκε ένα υλικό, γκουταπέρκα, το οποίο σε υψηλές θερμοκρασίες είναι μαλακό και εύπλαστο και σε χαμηλές σκληρό και απρόσβλητο από την υγρασία. Το 1846 κατασκεύασε ο Ουίλιαμ Ζήμενς σε συνεργασία με τον Χάλσκι στο Αμβούργο μία πρέσα που ενσωμάτωνε χωρίς ραφή και διακοπές δύο χάλκινα σύρματα στη μάζα της γκουταπέρκας (Σχήμα 26). Το 1847 τοποθετήθηκε ένα τέτοιο καλώδιο στο Βερολίνο σε μήκος 20 km με άριστα αποτελέσματα (Φραγκόπουλος, 2012).

**Σχήμα 26:** Τηλέγραφος με δείκτη του Siemens



Πηγή: <http://sfrang.com/historia/selida511.htm>

## 4.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ

Οι ηλεκτρομηχανικοί διακόπτες, γνωστοί σαν ηλεκτρονόμοι, Αγγλικά relays, και στην αργκό των ηλεκτρολόγων γνωστοί σαν ρελέδες, εκτός από τα παλαιά τηλεφωνικά κέντρα και τον υπολογιστή Mark-II της δεκαετίας του '40, χρησιμοποιούνται ευρύτατα και σήμερα σε όλες τις ηλεκτρικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, λόγω της αντοχής τους στις υψηλές τάσεις (εκατοντάδες ή χιλιάδες Volt), σε αντίθεση με τους ημιαγωγούς που καίγονται εύκολα από υπερτάσεις. βλέπεις και ακούς το διακόπτη να ανοιγοκλείνει μπροστά σου, κι έτσι νοιώθεις τη λειτουργία του ψηφιακού κυκλώματος πολύ καλύτερα απ' όσο με τα transistors, όπου δεν μπορεί κανείς να δει τι συμβαίνει με τα ηλεκτρόνια μέσα τους.

Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτρονόμου είναι απλή: ένας ηλεκτρομαγνήτης, δηλαδή ένας σιδηρούς πυρήνας με ένα ηλεκτρικό πηνίο τυλιγμένο γύρω του, έλκει τον σπλισμό του, δηλαδή ένα κινητό σιδερένιο μοχλό, όταν περνάει ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από το πηνίο. Μόλις διακοπεί το ηλεκτρικό ρεύμα, ο μαγνήτης παύει να έλκει τον σπλισμό του, και ένα ελατήριο επαναφέρει τον τελευταίο στην αρχική του θέση, μακριά από τον σιδερένιο πυρήνα. Συνδέουμε τον σπλισμό μ' ένα διακόπτη, και καθώς ο σπλισμός κινείται υπό την επίδραση του ηλεκτρομαγνήτη, αυτός κάνει το διακόπτη να ανοιγοκλείνει.

Ηλεκτρονόμοι υπάρχουν σε όλα τα μεγέθη, από μικροί, κατάλληλοι για να τους ελέγχει μιά χαμηλή τάση (5 - 12 Volt), π.χ. από ένα ηλεκτρονικό όργανο, και αυτοί με τη σειρά τους να αναβοσβήνουν μερικά φώτα (250 V, 5 A) ή ένα μικρό κινητήρα (π.χ. αντλία νερού), μέχρι πολύ μεγάλοι, κατάλληλοι για να ανοιγοκλείνουν τις μηχανές ολόκληρων εργοστασίων ή υποσταθμών της ΔΕΗ (Σχήμα 27).

#### **Σχήμα 27:** Παραδείγματα Ηλεκτρονόμων της ΔΕΗ



Πηγή: <http://techteam.gr/forum/topic/12509-hlektronomoi--Relays--->

Το ηλεκτρικό πηνίο διέγερσης (εκατοντάδες σπείρες λεπτού, ξανθού, μονωμένου σύρματος, τυλιγμένες γύρω από τον πυρήνα) βρίσκεται στο αριστερό μέρος του ηλεκτρονόμου. Οι εξωτερικοί ακροδέκτες του πηνίου είναι δύο ποδαράκια στην αριστερή άκρη του ηλεκτρονόμου· στη φωτογραφία φαίνεται μόνο το μπροστινό --το άλλο είναι ακριβώς πίσω του. Ο πυρήνας του ηλεκτρομαγνήτη περνάει μέσα από το



πηνίο, βγαίνει από κάτω, και ανεβαίνει προς τα επάνω ακριβώς δίπλα και δεξιά από το πηνίο (γκρί γυαλιστερό σίδηρο). Το μαγνητικό κύκλωμα συνεχίζει με το επάνω ήμισυ του οπλισμού, που βρίσκεται πάνω από τον ηλεκτρομαγνήτη. Ο οπλισμός είναι το σίδηρο σε σχήμα "Γ" με ελαφρώς αμβλεία γωνία που βρίσκεται πάνω και δεξιά από το πηνίο. Στην αριστερή φωτογραφία, δεν περνάει ρεύμα από το πηνίο και ο οπλισμός βρίσκεται ψηλά, όπου τον συγκρατεί το κατακόρυφο ελατήριο που ίσα-ίσα φαίνεται. Στη δεξιά φωτογραφία, περνάει ρεύμα από το πηνίο και ο οπλισμός έχει χαμηλώσει και έχει κολλήσει στον πυρήνα, ελκόμενος από τον ενεργό ηλεκτρομαγνήτη. Με την κίνηση αυτή, το κάτω-δεξί άκρο του οπλισμού έχει κινηθεί δεξιά, και έχει παρασύρει ένα μαύρο, οριζόντιο, πλαστικό έμβολο, το οποίο με τη σειρά του έχει παρασύρει τη μεσαία επαφή του διακόπτη.

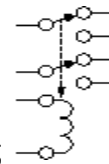
Ο διακόπτης είναι στη δεξιά πλευρά του ηλεκτρονόμου. Το μέρος του διακόπτη που φαίνεται στη φωτογραφία έχει έναν πόλο --το μεσαίο, χάλκινο, κατακόρυφο, λεπτότερο έλασμα-- και δύο επαφές --τα δύο παχύτερα κατακόρυφα χάλκινα ελάσματα, ένα αριστερά και ένα δεξιά. Άρα, αυτό το κομμάτι, που φαίνεται στη φωτογραφία, είναι ένας διακόπτης SPDT. Οι εξωτερικοί ακροδέκτες του διακόπτη είναι τα τρία ποδαράκια που φαίνονται κάτω από αυτόν, με την ίδια σειρά με την οποία βρίσκονται και τα αντίστοιχα ελάσματα μέσα στο διακόπτη. Από την πίσω πλευρά, που δεν φαίνεται στη φωτογραφία, υπάρχει άλλος ένας διακόπτης SPDT, ηλεκτρικά μονωμένος από τον πρώτο, που όμως κινείται από το ίδιο οριζόντιο μαύρο έμβολο, άρα ανοιγοκλείνει ταυτόχρονα με τον πρώτο. Επομένως, συνολικά, αυτός ο ηλεκτρονόμος ελέγχει και κινεί ένα διακόπτη DPDT. Οι 3 ακροδέκτες του πίσω διακόπτη είναι ακριβώς πίσω από τους ακροδέκτες του μπροστινού, και κρύβονται από αυτούς στη φωτογραφία.


Παρατηρήστε ότι ο διακόπτης είναι ηλεκτρικά πλήρως μονωμένος από τον ηλεκτρομαγνήτη και το πηνίο του: επικοινωνούν μόνο μηχανικά, μέσω του οριζόντιου μαύρου πλαστικού εμβόλου. Έτσι επιτυγχάνουμε τα δύο ηλεκτρικά κυκλώματα, το ελέγχον (πηνίο) και το ελεγχόμενο (διακόπτης), να είναι εντελώς ανεξάρτητα, με δυνατότητα να υπάρχει μεγάλη (και μεταβαλλόμενη) διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο· π.χ. το ένα μπορεί να ανήκει σε ένα ευαίσθητο ηλεκτρονικό όργανο, ενώ το άλλο μπορεί να συνδέεται σε ένα θορυβώδη ηλεκτρικό κινητήρα, τροφοδοτούμενο από άλλη φάση τριφασικής παροχής. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα των ηλεκτρονόμων που δεν το έχουν οι ηλεκτρονικοί διακόπτες (transistors).

Από την άλλη μεριά, φυσικά, για να αλλάξει κατάσταση ο ηλεκτρονόμος πρέπει να κινηθούν μηχανικά τμήματα, άρα απαιτείται χρόνος πολλών χιλιοστών του δευτερολέπτου (millisecond - ms), τη στιγμή που οι ηλεκτρονικοί διακόπτες (transistors) αναβοσβήνουν σε χρόνο σημαντικά κάτω του δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου (nanosecond - ns), σήμερα, δηλαδή είναι δεκάδες εκατομμύρια φορές γρηγορότεροι. Επίσης, για να κολλήσει ο οπλισμός ενός ηλεκτρονόμου του



εργαστηρίου μας απαιτείται ρεύμα 100 mA, άρα ισχύς 500 mW (στα 5 V που δουλεύουμε). Σε αντίθεση με αυτό, ένας σημερινός ηλεκτρονικός διακόπτης (transistor) μπορεί να ανοιγοκλείνει σε πλήρη ταχύτητα καταναλώνοντας κάτω από 50  $\mu$ W, και αναλογικά λιγότερο σε χαμηλότερες ταχύτητες, δηλαδή είναι δεκάδες χιλιάδες φορές οικονομικότερος στη μπαταρία (και στην παραγόμενη θερμότητα). Τέλος, ένα σημερινό transistor με τα γύρω κυκλώματά του καταλαμβάνει εμβαδό γύρω στο ένα τετραγωνικό  $\mu$ m (μικρόμετρο), συγκρινόμενο προς τα 300 τετραγωνικά mm (χιλιοστόμετρα) του ηλεκτρονόμου μας (χωρίς να παίρνουμε υπ' όψη και τη διαφορά ύψους), δηλαδή ο ηλεκτρονικός διακόπτης είναι γύρω στο ένα δισεκατομμύριο φορές μικρότερος!



Σαν σύμβολο του ηλεκτρονόμου στα κυκλώματά μας  . Στο επάνω μέρος είναι ο ηλεκτρικά ελεγχόμενος διακόπτης, είναι διακόπτης DPDT. Στο κάτω μέρος υπάρχει ένα σύμβολο πηνίου, που συμβολίζει τον ηλεκτρομαγνήτη. Τα δύο μέρη ενώνονται με μία διακεκομμένη γραμμή, που συμβολίζει ότι το πηνίο ελέγχει το διακόπτη. Η διακεκομμένη γραμμή έχει ένα βέλος προς το πηνίο, που συμβολίζει τη σύμβαση πολικότητάς μας: όταν το πηνίο είναι αδρανές (δεν διαρρέεται από ρεύμα), οι διακόπτες είναι στην επάνω κατάσταση τους· όταν το πηνίο ενεργοποιείται (διαρρέεται από ρεύμα), έλκει τους διακόπτες προς την φορά του βέλους, δηλαδή τους φέρνει στην κάτω κατάσταση τους. Το πηνίο δεν έχει συγκεκριμένη πολικότητα, δηλαδή ενεργοποιείται με ρεύμα είτε της μίας φοράς είτε της άλλης. Επίσης, το πηνίο είναι ηλεκτρικά μονωμένο από τους διακόπτες, άρα δεν μπορεί να περάσει ρεύμα ανάμεσα στους ακροδέκτες του πηνίου και αυτούς των διακοπών, ούτε η διαφορά τάσης μεταξύ τους έχει καμία επίδραση στον ηλεκτρονόμο (<http://techteam.gr/forum/topic/12509-hlektronomoi--Relays---> ).

### 4.3. ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΩΣ ΑΡΧΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ

Οι ηλεκτρονόμοι λόγω της διακοπτικής ικανότητας που έχουν τους κάνει πολύ πρακτικούς σε πολλούς τομείς, από την βιομηχανία μέχρι και την οικία. Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα, με την χρήση του ηλεκτρονόμου ο Μορς κατάφερε να δημιουργήσει την πρώτη συσκευή τηλεπικοινωνίας, κάνοντας ένα μεγάλο βήμα για την μετέπειτα εξέλιξη τους. Η εξέλιξη αυτή ανέδειξε το κύριο πλεονέκτημα των ρελαί, δηλαδή αυτό της διακοπτικής ικανότητας που έχουν ώστε να επιτρέπουν ή όχι την ροή του ρεύματος προς ένα κύκλωμα, με σκοπό την αποφυγή



λαθών που οφείλονται κυρίως στον ανθρώπινο παράγοντα. Επίσης με αυτή τους την ικανότητα προσδίδουν ακρίβεια και αυτόματο έλεγχο διαφόρων καταστάσεων απο απόσταση.

Πριν την χρήση του ηλεκτρονόμου ως διακοπτικό μέσο, για την εκκίνηση κινητήρων χρησιμοποιούσαν απλούς χειροκίνητους διακόπτες και ο κινητήρας αρχικά λειτουργούσε εν κενό και στην συνέχεια σύνδεαν στον άξονα του κινητήρα το επιθυμητό φορτίο, με την βοήθεια χειροκίνητου σασμάν. Αυτό γινόταν για να αποφευχθούν τα υψηλά ρεύματα που απορροφούσε ο κινητήρας κατά την εκκίνηση του με φορτίο. Με αυτό τον τρόπο εκκίνησης ο χειριστής διέτρεχε μεγάλο κίνδυνο κατά την σύνδεση του φορτίου στον κινητήρα και ένας λάθος χειρισμός θα μπορούσε να προκαλέσει μεγάλα προβλήματα τόσο στην βιομηχανία όσο και στους ίδιους τους κινητήρες. Με την εισαγωγή του ηλεκτρονόμου στην βιομηχανία όλα αυτά αποτέλεσαν παρελθόν.

Παρακάτω παρατείνονται διάφοροι τρόποι εκκίνησης κινητήρα με την χρήση των ηλεκτρονόμων:

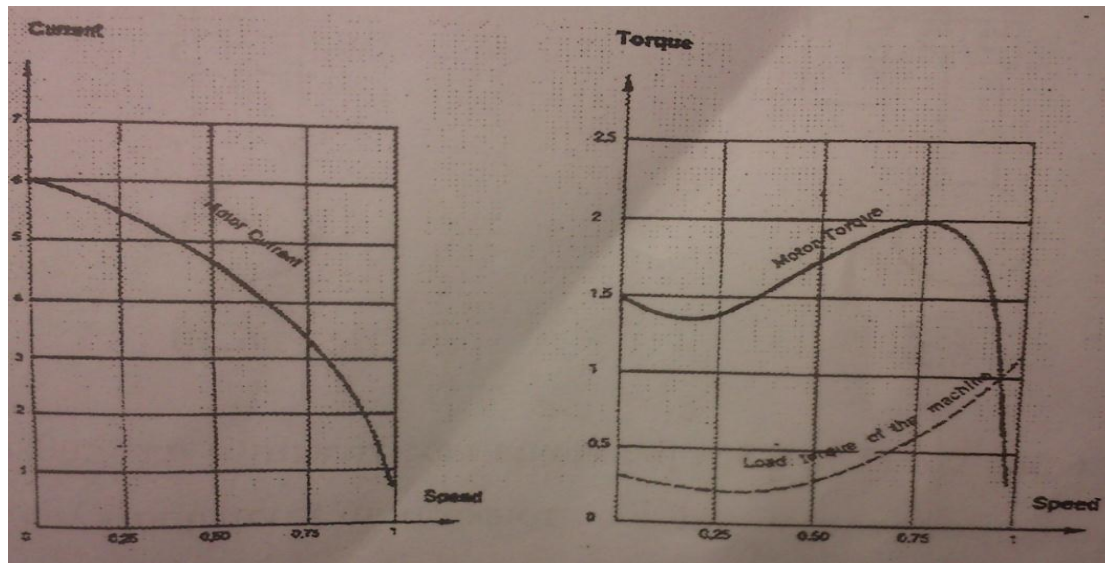
#### **Απ'ευθείας εκκίνηση ηλεκτρικού κινητήρα**

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως όταν εφαρμοστεί τάση σε έναν κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα η απότομη ροή ρεύματος (διαρκεί 2-3 sec) στο δίκτυο είναι μεγάλη (4-8 φορές την  $I_{ον}$ ), διότι έχουμε τις εξής συνθήκες: (α) ο κινητήρας είναι ακίνητος, (β) είναι ένας  $M/\Sigma$  με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον, και (γ) απορροφά ρεύμα για την εγκατάσταση του μαγνητικού πεδίου. Έτσι είναι δυνατόν, ειδικά αν η διατομή της γραμμής είναι μικρή (μεγάλη ωμική αντίσταση), να προξενήσει μεγάλη πτώση τάσης στην γραμμή (βύθιση τάσης) ικανή να επιρεάσει τη λειτουργία των άλλων μηχανημάτων (διότι  $U_{κιν} < U_{ον}$ ).

Γι' αυτό μερικές εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν επιτρέπουν την απευθείας εκκίνηση των επαγωγικών κινητήρων, ενώ άλλες την επιτρέπουν υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Η Δ.Ε.Η επιτρέπει την απευθείας εκκίνηση κινητήρων εάν ο χρόνος εκκίνησης είναι μικρότερος από 5 sec και ικανοποιούνται οι σχέσεις μέχρι 10 HP,  $I_{εκκ} / I_{ον} < 2$ , για κινητήρες μεγαλύτερης ισχύος από 10 HP,  $I_{εκκ} / I_{ον} < 1.6$ , εφόσον το ρεύμα εκκίνησης είναι μικρότερο από 30 A.

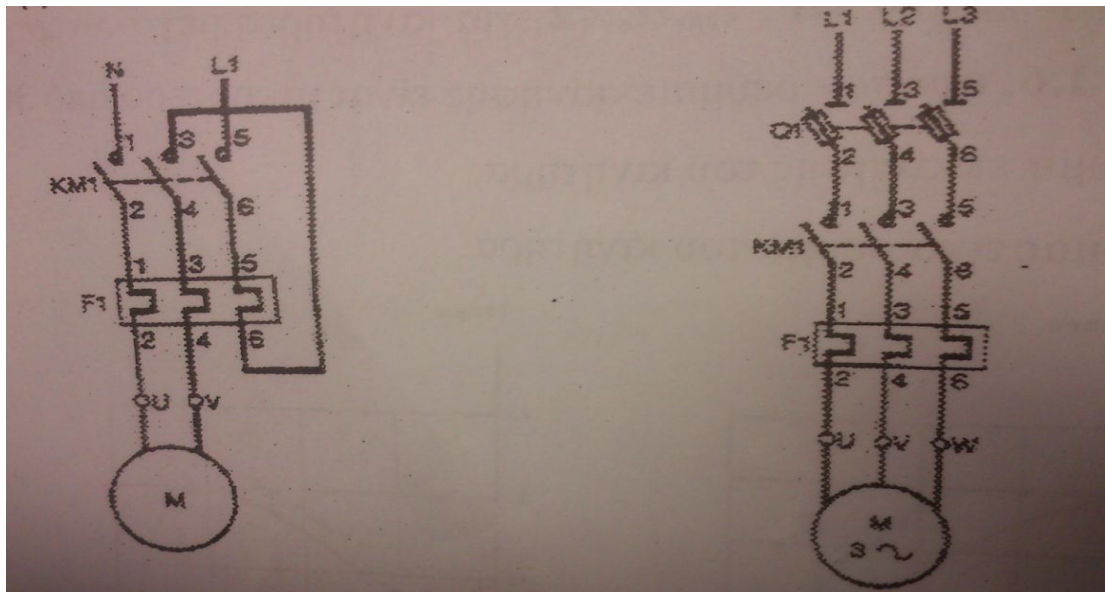
Αυτή η μέθοδος εκκίνησης είναι ιδανική διότι επιτρέπει την εκκίνηση ακόμη και υπο πλήρες φορτίο, αν η αιχμή έντασης είναι αποδεκτή, δίνει μεγάλη  $T_{εκκ}$ , εφόσον η καθορισμένη απο τον κατασκευαστή αρχική ροπή είναι ικανή να εκκινήσει την μηχανή του εν λόγω κινητήρα. Η ένταση του απορροφούμενου ρεύματος και της παραγόμενης ροπής συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του ρότορα φαίνεται στα παρακάτω σχήματα (Βλασσόπουλος, 2002, σελ 51-55)

Σχήμα 28: Παραδείγματα εκκίνησης κινητήρα



Πηγή: Βλασσόπουλος, 2002, σελ 51

Στα παρακάτω σχήματα βλέπουμε πως γίνεται η απ' ευθείας σύνδεση (εκκίνηση) ενός μονοφασικού και ενός τριφασικού κινητήρα κλωβού με την βοήθεια αυτόματου διακόπτη.



Πηγή: Βλασσόπουλος, 2002, σελ 52

Όταν έχουμε απ' ευθείας εκκίνηση μονοφασικού κινητήρα με την βοήθεια αυτόματου διακόπτη εκκίνησης και επειδή τα θερμικά είναι τριπολικό διακόπτες πρέπει να συνδεθούν κατάλληλα, ώστε να επιτυγχάνεται σωστή (ηλεκτρικά) και γρήγορη λειτουργία της προστατευτικής διάταξης (Βλασσόπουλος, 2002, σελ. 52-53)



Μερικές πληροφορίες για τα θερμικά:

Λόγω της ιδιομορφίας της κατασκευής θα πρέπει να αναφερθούμε στα θερμικά υπερέντασης που είναι διατάξεις προστασίας φορτίων από υπερεντάσεις έναντι του ονομαστικού ρεύματος και όχι από βραχυκυκλώματα, (χρησιμοποιούνται για προστασία ασφάλειες τήξης ή αυτόματοι διακόπτες με ηλεκτρομαγνητικά στοιχεία). Ένα θερμικό υπερέντασης αποτελείται από τρία διμεταλλικά στοιχεία γύρω από τα οποία περιτυλίσσονται αγωγοί δια μέσω των οποίων διέρχεται το ρεύμα των φάσεων πριν τροφοδοτήσουν τον κινητήρα, δύο βοηθητικές επαφές, αλλά και μηχανισμούς μανδάλωσης και ενεργοποίησης των επαφών.

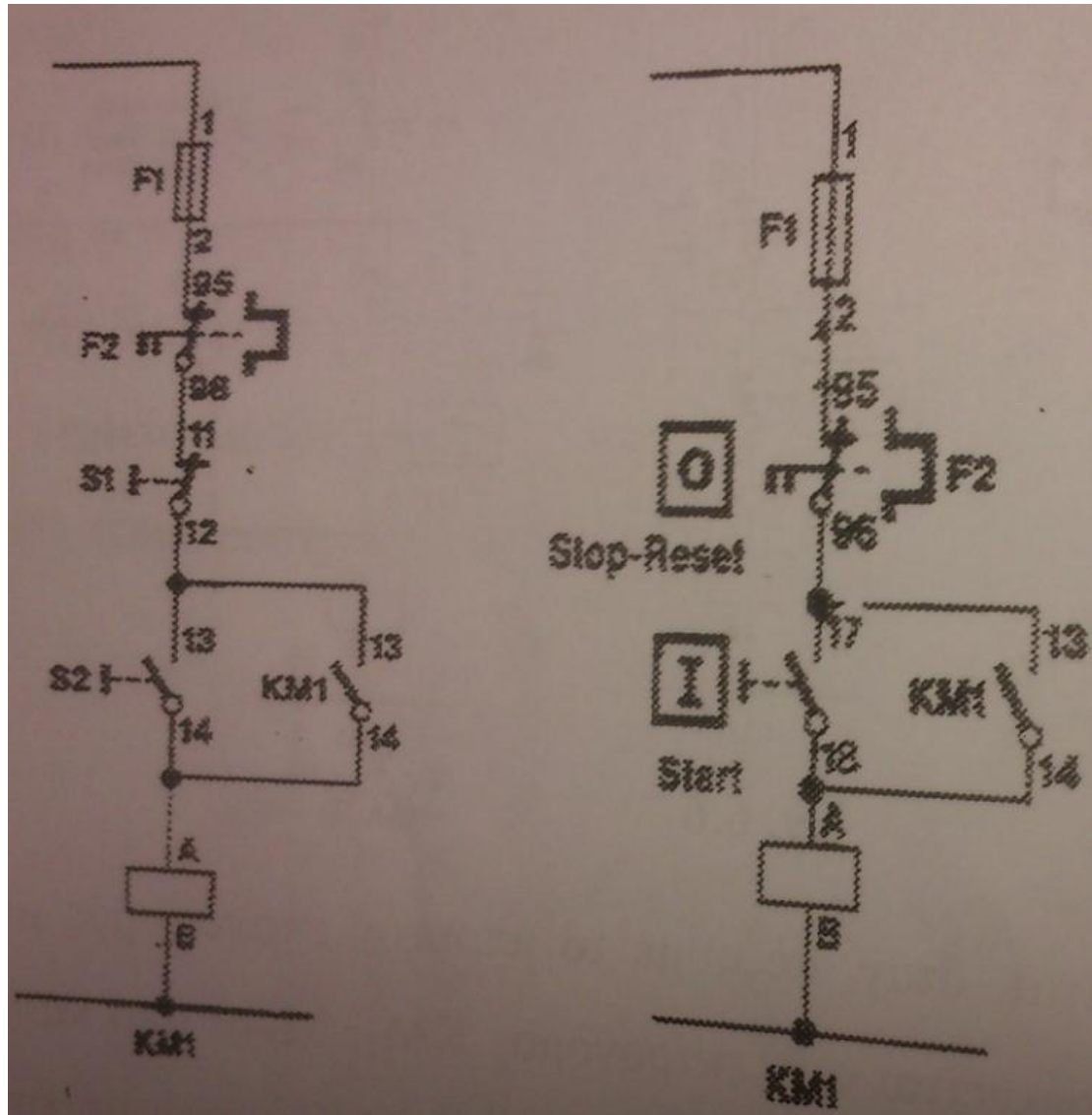
Αρχή λειτουργίας :

(1) Για λειτουργία σε μια τριφασική εγκατάσταση σύνδεση σε γραμμή ενός διμεταλλικού στοιχείου.

(2) Για λειτουργία σε μία μονοφασική εγκατάσταση συνδέουμε ένα στοιχείο στην μιά γραμμή (φάση) και τα άλλα δύο σε σειρά στην άλλη γραμμή (ουδέτερος) (Βλασσόπουλος, 2002, σελ. 39-40)

Παρακάτω έχουμε το βοηθητικό κύκλωμα της απ' ευθείας σύνδεσης κινητήρα. Αξιοσημείωτο είναι ότι μετά την ενεργοποίηση του μπουτόν S2 (Start) και λόγω της ανοιχτής επαφής 13-14 του KM1 ο χειριστής μπορεί να απομακρυνθεί και το κύκλωμα να έχει αυτοσυγκράτηση (βλ. Σχήμα 29). Για τον λόγο αυτό η επαφή αυτή ονομάζεται επαφή αυτοσυγκράτησης.



**Σχήμα 29:** Σχηματοποίηση της επαφής αυτοσυγκράτησης

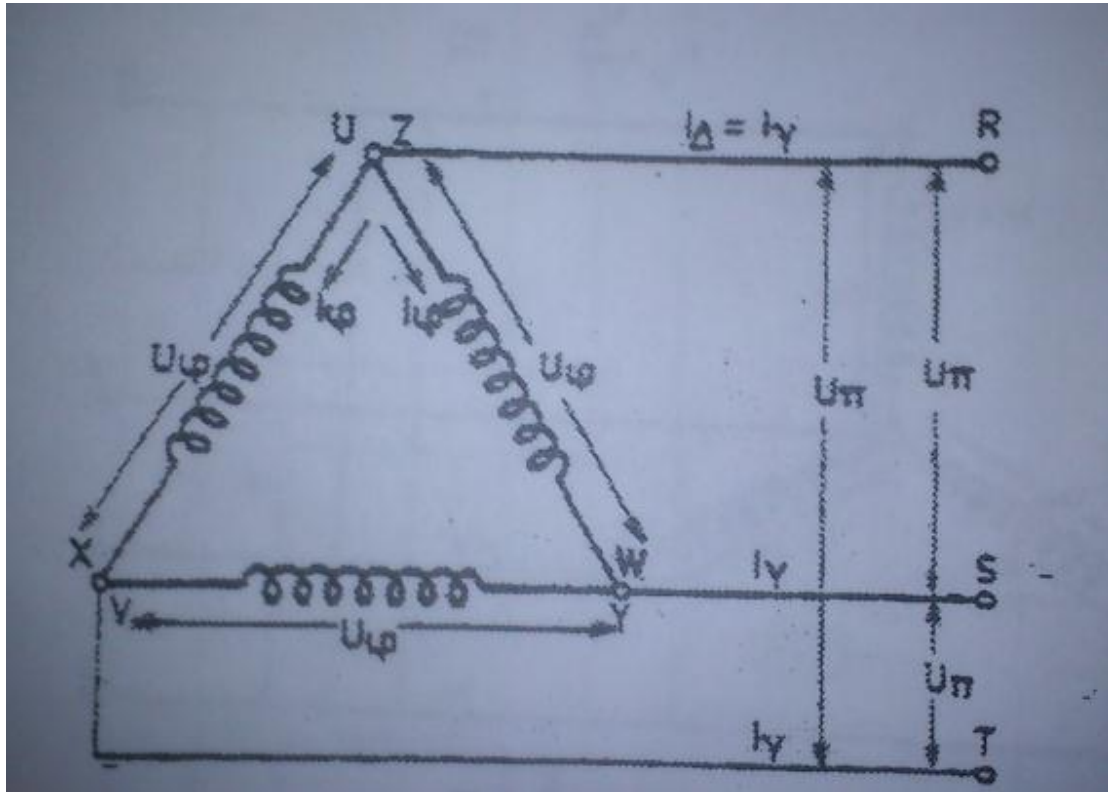
Πηγή: Βλασσόπουλος, 2002, σελ.54

### Εκκίνηση κινητήρα κλωβού κατ' αστέρα – τρίγωνο

Κατα την εκκίνηση ενός κινητήρα παρουσιάζεται στην γραμμή μεγάλη αιχμή έντασης ρεύματος, που πρέπει να περιοριστεί (Βλασσόπουλος 2002). Επειδή τα χαρακτηριστικά είναι καθορισμένα από τον κατασκευαστή (σταθερά), ελάττωση της αιχμής μπορεί να επιτευχθεί με ελάττωση της τάσης τροφοδοσίας (διάφορες μέθοδοι εκκίνησης) του κινητήρα, λαμβάνοντας υπόψη ότι η μείωση της αιχμής έντασης συνοδεύεται και από μείωση της ροπής στρέψης (βλ Σχήματα 30<sup>α</sup> και β). Για να δουλέψει ο κινητήρας με τα ονομαστικά του ηλεκτρικά μεγέθη πρέπει να έχουν συνδεθεί τα τυλίγματα του κατά τρίγωνο. Αν τώρα επιτρεπόταν η απ' ευθείας εκκίνηση του κινητήρα η ένταση που διαρρέει (κατά την εκκίνηση) το τύλιγμα κάθε φάσεως θα ήταν:

$$I_{\phi} = U_{\phi} / Z$$

**Σχήμα 30 α:** Εκκίνηση κινητήρα κατά τρίγωνο



Πηγή: Βλασσόπουλος, 2002, σελ.65

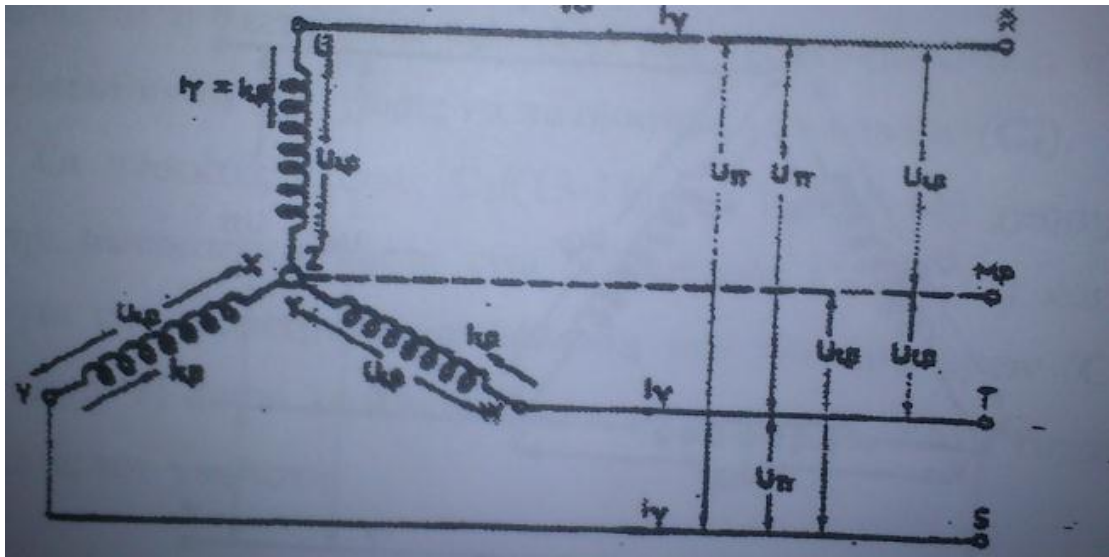
Αν τώρα κατ' αρχήν η εκκίνηση γίνει κατα αστέρα τότε:

$$U_{\phi} = U_{\pi} / \sqrt{3}$$

άρα έχουμε μείωση της τάσης τροφοδοσίας οπότε η ένταση ανα φάση η οποία είναι ένταση γραμμής θα είναι:

$$I_{\gamma\rho} = 1/3 I_{\tau\rho\gamma}$$

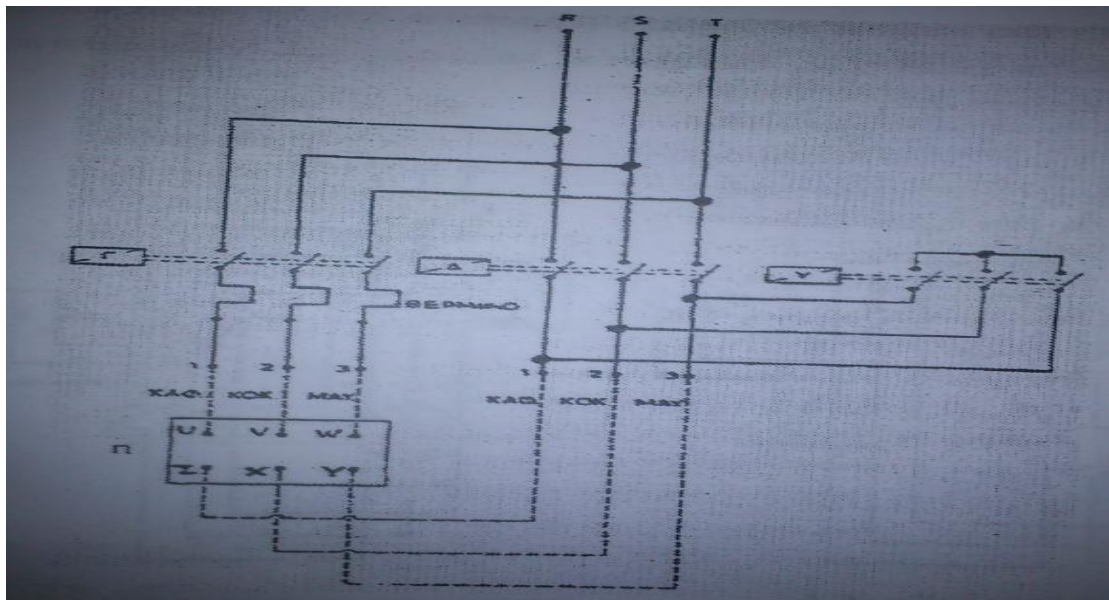
**Σχήμα 30β:** Εκκίνηση κινητήρα κατ' αστέρα



Πηγή: Βλασσόπουλος, 2002, σελ.66

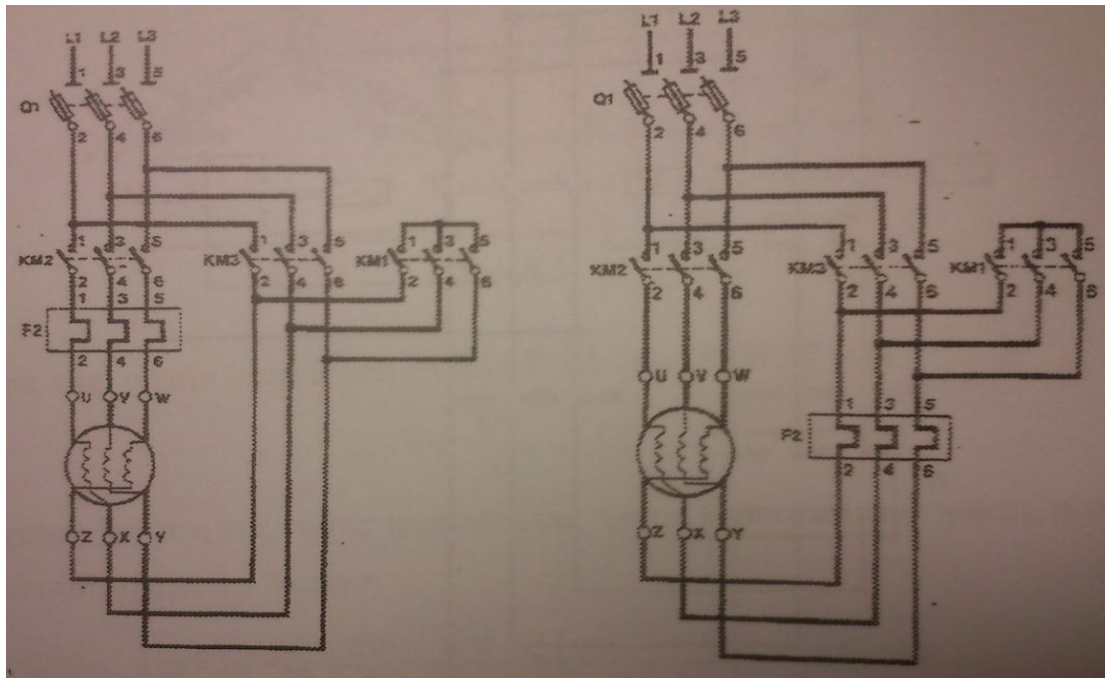
Συνεπώς η απορροφούμενη, κατά την εκκίνηση του κινητήρα ένταση, όπως και η παραγόμενη ροπή στρέψης, είναι τρεις φορές μικρότερη από την ένταση που απορροφά κατά την απ' ευθείας ζεύξη κατά τρίγωνο. Το Σχήμα 31 αναπαριστά την τροφοδότηση κατά αστέρα- τρίγωνο.

**Σχήμα 31:** Κύκλωμα ισχύος της τροφοδότησης κατά αστέρα - τρίγωνο



Πηγή: Βλασσόπουλος, 2002, σελ.67

**Σχήμα 32:** Κύκλωμα ισχύος με τους ασφαλειοαποζεύκτες, το θερμικό και τους ηλεκτρονόμους



Πηγή: Βλασσόπουλος, 2002, σελ.68

Στα παραπάνω σχήματα βλέπουμε τα κυκλώματα ισχύος της εκκίνησης ενός κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα κατα αστέρα τρίγωνο. Αυτά διαφέρουν μόνο στην θέση του θερμικού προστασίας από υπερεντάσεις.

Θα μπορούσαμε τη σύνδεση από αστέρα σε τρίγωνο να την πραγματοποιήσουμε με χειροκίνητο διακόπτη, αλλά συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε τον αυτόματο διακόπτη αστέρα-τρίγωνο για τους εξής λόγους:

α) μέσω των αυτομάτων διακοπών έχουμε προστασία των κινητήρων από υπερφόρτιση, διακοπή της μιας φάσης του δικτύου και έλλειψη τάσης,

β) ο χρόνος για την μετάβαση αποσύνδεσης κατα αστέρα σε σύνδεση κατα τρίγωνο ρυθμίζεται απο χρονικό μηχανισμό, και

γ) μπορούμε να έχουμε διάφορους συνδιασμούς εντολοδότησης ή διακοπής απο θερμοστάτες, πιεζοστάτες, φλοτέρ κλπ. (Βλασσόπουλος, 2002, σελ. 69-70)

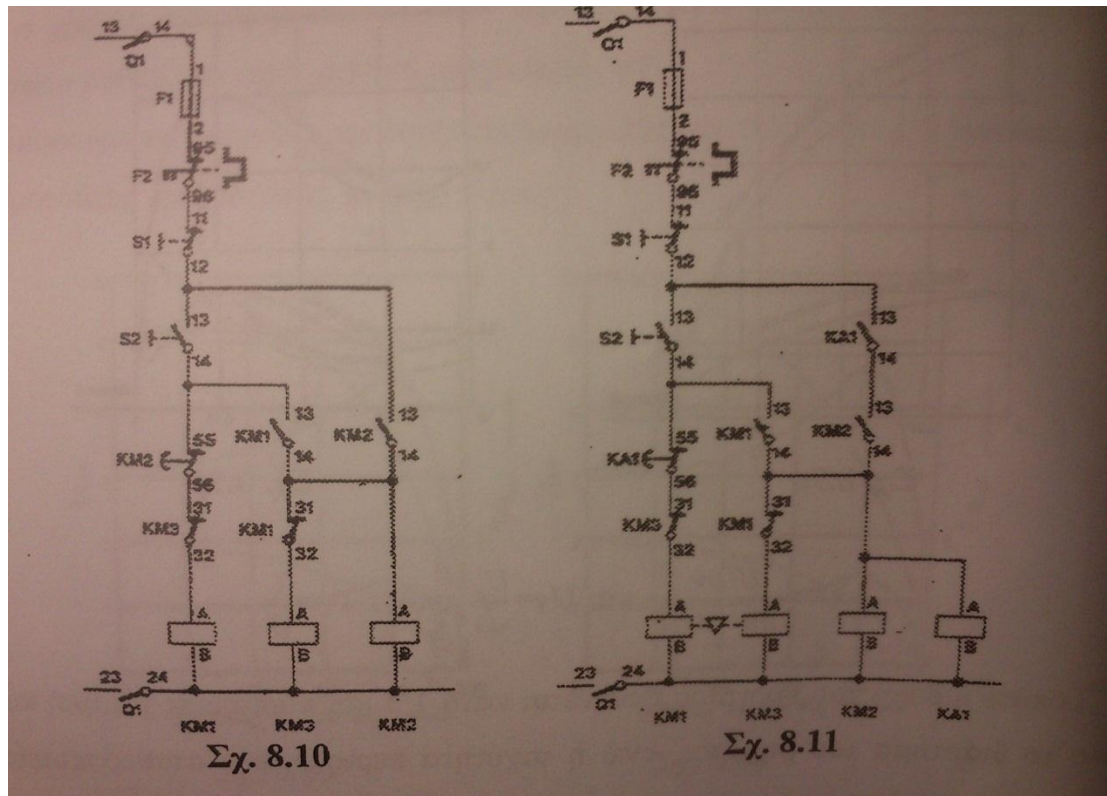
Όπως γίνεται αντιληπτό σημαντικός είναι ο χρόνος μετάβασης από αστέρα σε τρίγωνο, όπου ο χρόνος εκκίνησης για κάθε κινητήρα υπολογίζεται απο την εξής σχέση:

$$T_{εκ} = 4 + 2 * \sqrt{P_{ον}} \text{ (σε KW)}$$

Η καθυστέρηση αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση ενός χρονοδιακόπτη, χρονικού ή γενικά ενός χρονικά ρυθμιζόμενου διακόπτη, ο οποίος τοποθετείται στο βοηθητικό κύκλωμα. Επομένως για την ρύθμιση αυτοματοποιημένων καταστάσεων οι αλλαγές

πρέπει να γίνονται στο βοηθητικό κύκλωμα, και στην περιπτώσή μας έχουμε στο (Σχήμα 33 1<sup>ο</sup> σχέδιο) η μετάβαση γίνεται με χρονικά καθυστερημένη επαφή στον ηλεκτρονόμο ΚΜ2, ενώ στο (Σχήμα 33 2<sup>ο</sup> σχέδιο) γίνεται με χρονικά καθυστερημένη επαφή απο τον ηλεκτρονόμο ΚΑ1 που είναι παραλληλισμένος με τον ΚΜ2.

**Σχήμα 33:** Σχήμα Ηλεκτρονόμου παραλληλισμένου με τον ΚΜ2



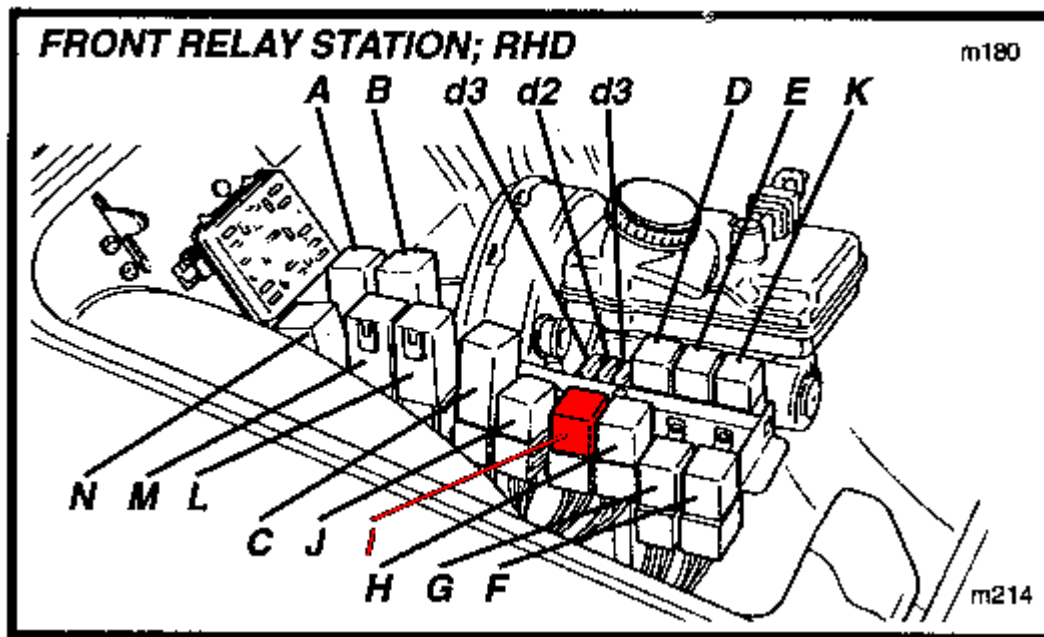
Πηγή: Βλασσόπουλος, 2002, σελ.72

Επίσης μπορούν να επιτευχθούν και άλλες διάφορες εκκινήσεις ενός κινητήρα, όπως:

1. Εκκίνηση κατα αστέρα – τρίγωνο με αντιστάσεις ισχύος.
2. Εκκίνηση μέσω αντιστάσεων ισχύος συνδεδεμένων στο στάτη.
3. Εκκίνηση κινητήρα με την βοήθεια αυτομετασχηματιστή.

Με τις παραπάνω γνώσεις και έχοντας τον ηλεκτρονόμο ως ένα μέσο ελέγχου, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου σε έξυπνα σπίτια, σε αυτοκίνητα (βλ. Σχήμα 34), σε πλοία κλπ.

**Σχήμα 34:** Σταθμός με ηλεκτρονόμους σε ένα αυτοκίνητο



Πηγή: <http://www.andywhittaker.com/Cars/LotusEspritGT3/MainBeamModification.aspx>

### ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ ΣΕ PLC

Στο σημείο αυτό έχει σημασία να τονιστούν ορισμένα ιστορικά στοιχεία των ηλεκτρονόμων. Ο ηλεκτρονόμος ή ρελέ, ρελαί (relay) ή ρελές είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα κάτω από τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Στην αρχική μορφή του, ένας ηλεκτρομαγνήτης ενεργοποιούσε το διακόπτη, με το άνοιγμα ή κλείσιμο μιας ή περισσότερων επαφών (<http://home-on-line.blogspot.gr/2007/11/plc.html>). Εφευρέθηκε από τον Τζόζεφ Χένρυ το 1835. Επειδή ένας ηλεκτρονόμος είναι ικανός να ελέγχει ένα κύκλωμα εξόδου υψηλότερης ισχύος από το κύκλωμα εισόδου, μπορεί να θεωρηθεί, γενικά, μια μορφή ηλεκτρικού ενισχυτή.

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο αρχίζει η ηλεκτρονική εποχή. Ήδη από τις αρχές του 20ου αιώνα έχουμε τις πρώτες ηλεκτρονικές συσκευές, το ραδιόφωνο, την τηλεόραση, τους ασύρματους και το ραντάρ, των οποίων κύριο εξάρτημα ήταν η ηλεκτρονική λυχνία.

#### Eniac

Το 1945 κατασκευάστηκε ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής, ο ENIAC, ο οποίος χρησιμοποιούσε λυχνίες. Ο ENIAC δεν θύμιζε σε τίποτα τους σημερινούς υπολογιστές, ήταν ένα ολόκληρο εργοστάσιο που έλυνε μαθηματικές εξισώσεις. Ο ENIAC, αγγλική συντομογραφία του Electronic Numerical Integrator and Computer (Ηλεκτρονικός αριθμητικός ολοκληρωτής και υπολογιστής), ήταν ο πρώτος μεγάλης κλίμακας επαναπρογραμματιζόμενος, ηλεκτρονικός, ψηφιακός υπολογιστής ικανός



να λύσει ένα πλήρες εύρος υπολογιστικών προβλημάτων, αν και είχαν χτιστεί ήδη υπολογιστές με αυτές τις ιδιότητες.

Μετά το 1950 και με τη χρήση των τρανζίστορ έχουμε τους πρώτους πραγματικούς υπολογιστές (Σχήμα 34) που χρησιμοποιούνται κυρίως στο θέμα της μηχανογράφησης, δηλαδή στην αποθήκευση και διαχείριση μεγάλων αρχείων δεδομένων.

**Σχήμα 35:** Πρώτη μορφή H/Y



**Πηγή:** <http://home-on-line.blogspot.gr/2007/11/plc.html>

Από την δεκαετία του '60 ήδη οι μηχανικοί άρχισαν να σκέφτονται τρόπους για να αξιοποιήσουν τις καταπληκτικές δυνατότητες των υπολογιστών στη βιομηχανία. Από τις πρώτες εφαρμογές των υπολογιστών στη βιομηχανία ήταν οι αυτόματες εργαλειομηχανές (τόρνοι, φρέζες κτλ), οι οποίες μέχρι τότε χρησιμοποιούσαν κυρίως μηχανολογικούς και λιγότερο ηλεκτρονικούς αυτοματισμούς. Ο μίνι-υπολογιστής PDP-8H DEC παρουσίασε το 1968 τον πρώτο εμπορικά πετυχημένο μίνι-υπολογιστή, τον PDP-8. Τιμή τότε : 20.000 δολάρια.

Ο υπέρ-υπολογιστής Cray

Ο Cray είναι ο πρώτος "πανίσχυρος" υπολογιστής που παρουσιάστηκε για πολύ βαριές υπολογιστικές εργασίες την δεκαετία του 1970, καθιερώνοντας ουσιαστικά τον όρο του "υπέρ-υπολογιστή" (super -computer) (Σχήμα 35) απόγονοι του χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα (γενιές Cray-2 και Cray-3) (<http://home-on-line.blogspot.gr/2007/11/plc.html>).



**Σχήμα 36:** Ο «Υπερυπολογιστής»

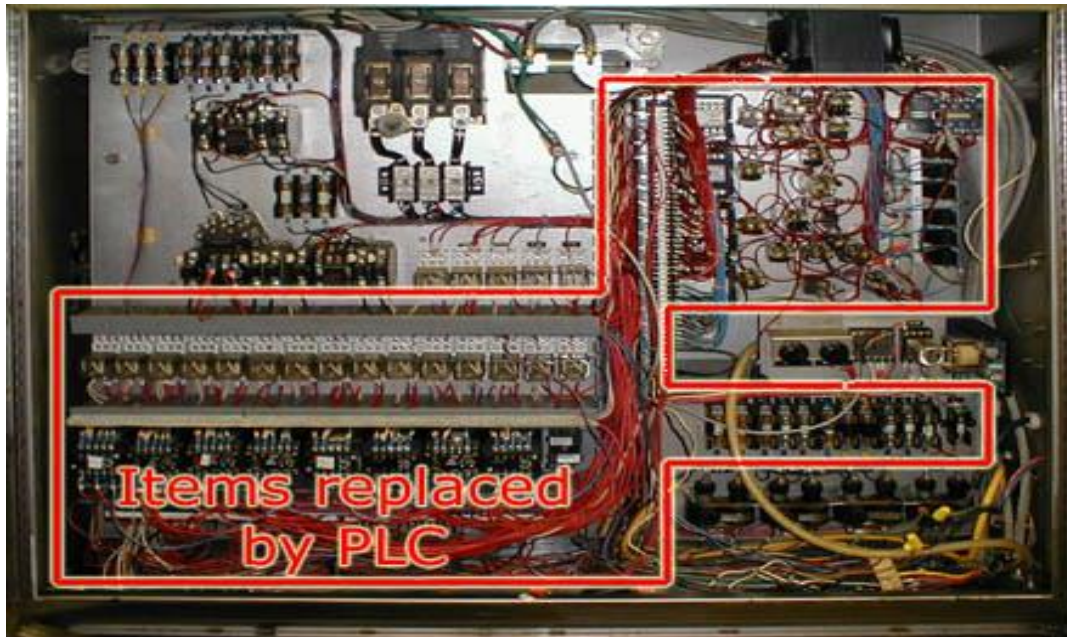


**Πηγή:** <http://home-on-line.blogspot.gr/2007/11/plc.html>

Στις μέρες μας η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει αντικαταστήσει τους ηλεκτρονόμους με τα PLC, καταφέροντας να περιορίσει τον χώρο που θα καταλάμβαναν πολλοί ηλεκτρονόμοι μαζί. Όμως για τον προγραμματισμό τους τα PLC, χρειάζονται ως αναγκαία γνώση της ορθής χρήση των ηλεκτρονόμων. Παρόλα αυτά ο ηλεκτρονόμος δεν γίνεται να αντικατασταθεί πλήρως από τα PLC, λόγω του χαμηλού κόστους που έχει έναντι τους. Επίσης η σύνδεση των ηλεκτρονόμων δεν προϋποθέτει γνώσεις προγραμματισμού.



**Σχήμα 37:** Εξοικονόμηση χώρου τοποθετώντας ένα PLC



Πηγή: <http://home-on-line.blogspot.gr/2007/11/plc.html>



[ [http://www.pavenengineering.com/services/plc\\_conv.htm](http://www.pavenengineering.com/services/plc_conv.htm) ]

## 5. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΜΑΣ

Για την επίτευξη της κατασκευής μας χρησιμοποιήθηκαν τα κατάλληλα υλικά, έχοντας το καθένα την δικιά του ιδιαίτερη θέση πάνω στο κύκλωμα. Έτσι με την ορθή χρήση αυτών των υλικών καταφέραμε να δημιουργήσουμε έναν αυτοματισμό, ο οποίος μπορεί να είναι ελεγχόμενος στις τέσσερις κινήσεις του (πάνω – κάτω – δεξιά – αριστερά).

Ο αυτοματισμός αυτός είναι ουσιαστικά δύο περιστρεφόμενες σκούπες σε σχήμα κυλίνδρου, των οποίων την κατεύθυνση μπορούμε να ορίσουμε πάνω στην επιφάνεια ενός φωτοβολταϊκού πάνελ. Η ιδιαιτερότητα όμως του μηχανήματος αυτού, είναι ότι με την αλλαγή ενός διακόπτη και με την κατάλληλη τοποθέτηση του μηχανήματος πάνω στην συστοιχία, όπως ο καθαρισμός του φωτοβολταϊκού γίνεται αυτόματα με καθορισμένες κινήσεις που έχουν δοθεί (προγραμματίζεται). Επίσης δίνει και την ευχέρεια απουσίας του χειριστή κατά την διαδικασία, λόγω του ότι όταν ολοκληρώνεται ο καθαρισμός απενεργοποιείται και η συσκευή.

Παρακάτω γίνεται μια αναφορά για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στον ηλεκτρολογικό μέρος της κατασκευής και τον λόγο που έγινε η επιλογή του καθενός:

### 1) ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ



Πηγή: <http://www.newegg.com/Product/Product.aspx?Item=N82E16817154012>

Το παραπάνω τροφοδοτικό χρησιμοποιήθηκε για την τροφοδοσία της κατασκευής. Προέρχεται από επιτραπέζιο ηλεκτρονικό υπολογιστή και παρέχει πολλές δυνατότητες οι οποίες φάνηκαν πολύ χρήσιμες τόσο στην διεξαγωγή όσο και στην ολοκλήρωση της κατασκευής, όπως φαίνεται στο Σχήμα/φωτογραφία που ακολουθεί:

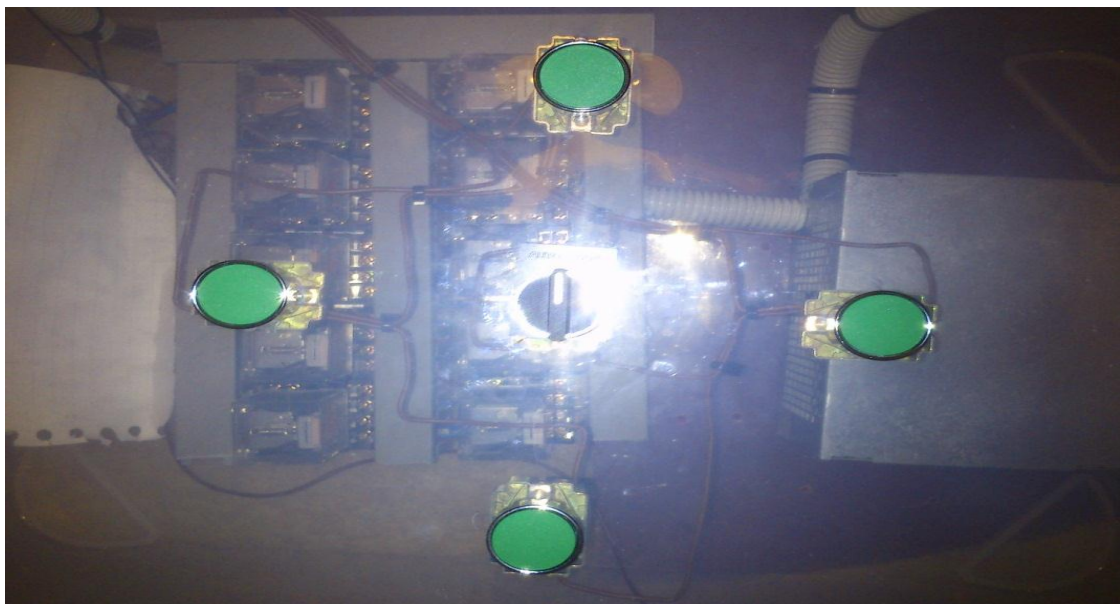


Το τροφοδοτικό είναι η πηγή ηλεκτρικής ενέργειας της συσκευής μας, οπότε θα έπρεπε να μας δίνει τα ακριβής μεγέθη που χρειαζόμαστε. Το μηχάνημα πραγματοποιεί τις κινήσεις του με την χρήση τριών ηλεκτρικών κινητήρων D.C 12(V), οπότε προσθέτοντας φορτίο στους κινητήρες θα απορροφούσαν περισσότερη ένταση ρεύματος. Όπως γίνεται φανερό τα 230 (V) της Δ.Ε.Η, δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν την κατασκευή μας. Επομένως το τροφοδοτικό με τις ανορθωτικές διατάξεις και τα φίλτρα εξομάλυνσης που εμπεριέχει μας δίνει την επιλογή να τροφοδοτήσουμε με 12 (V) D.C. Όμως λόγω του ότι η οι κινήσεις δεξιά και αριστερά πραγματοποιούνται μαζί με την ανάλογη φορά περιστροφής των σκουπών, οπότε θα έχουμε απορρόφηση ρεύματος μετά από μέτρηση περίπου 13 (A), τα οποία επιλέγοντας την σωστή τροφοδότηση που παρέχεται μπορούν να δοθούν από το τροφοδοτικό. Έτσι εκμεταλλευτήκαμε το σημαντικότερο πλεονέκτημα που μας δόθηκε, δηλαδή η επιλογή της τάσης και του ρεύματος τροφοδοσίας.

Για την εύκολη εισαγωγή του τροφοδοτικού στο κουτί χειρισμού, τοποθετήθηκαν κανάλια και η έξοδος των καλωδίων έγινε με την χρήση σπирάλ σωλήνα, ο οποίος φαίνεται στο Σχήμα/Φωτογραφία που ακολουθεί:



## 2) ΜΠΟΥΤΟΝ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΗ ΤΡΙΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Όπως φαίνεται στο Σχήμα/Φωτογραφία παραπάνω για τον χειροκίνητο χειρισμό της κατασκευής έχουν τοποθετηθεί 4 μπουτόν βιομηχανικού τύπου για τις 4 δυνατές κατευθύνσεις κίνησης της κεφαλής καθαρισμού της κατασκευής μας. Ο διακόπτης τριών θέσεων χρησιμοποιείται για την επιλογή μεταξύ χειροκίνητης και αυτόματης λειτουργίας του συστήματος καθαρισμού καθώς επίσης και για την απενεργοποίηση της συσκευής μας. Τα μπουτόν έχουν δυνατότητα χειρισμού ρευμάτων μέχρι την τιμή των 20(A). Επίσης ο διακόπτης 3 θέσεων έχει ικανότητα διακοπής ρευμάτων μέχρι την ονομαστική του τιμή των 30(A).

Στη φωτογραφία που ακολουθεί βλέπουμε τις συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν από το πίσω μέρος του πάνελ έλεγχου της κατασκευής.



### 3) ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ ΜΕ ΡΟΔΑΚΙΑ ΚΑΙ SWITCH



Για τον έλεγχο της δεξιάς και της αριστερής κίνησης της κατασκευής (βλ. παραπάνω φωτογραφία), χρησιμοποιήθηκαν δύο τερματικοί διακόπτες, όπως απεικονίζει και η παραπάνω φωτογραφία. Ο κάθε διακόπτης έχει μία ανοιχτή (N/O) και μία κλειστή επαφή (N/C). Έχουν ένα κινούμενο άκρο όπου υπάρχει ένα ροδάκι στο κάτω μέρος για την εύκολη μετακίνηση του μηχανήματος πάνω στο φωτοβολταϊκό πάνελ. Η ιδιαιτερότητα αυτού του διακόπτη είναι ότι μόλις το μηχανήμα φτάσει στο ένα άκρο της συστοιχίας, τότε το κινούμενο άκρο του διακόπτη το οποίο είναι προσδεμένο σε έναν μηχανισμό με ελατήριο μόλις βρεθεί στο κενό θα ενεργοποιήσει την επαφή που χρησιμοποιούμε να ανοίξει ή να κλείσει ανάλογα με το τι έχουμε σχεδιάσει να κάνουμε. Οπότε κάνοντας την κατάλληλη σύνδεση και διαμέσου ηλεκτρονόμων μπορέσαμε να περιορίσουμε την λειτουργία του μηχανήματος πάνω στο πάνελ και μόνο. Στο βοηθητικό κύκλωμα του αυτοματισμού μας, το τερματικό που τοποθετείται στην αριστερή πλευρά και ελέγχει την αριστερή κίνηση έχει την ονομασία TL, ενώ αυτό της δεξιάς κίνησης έχει την ονομασία TR.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε και ένας διακόπτης (switch), ο οποίος λειτουργεί σαν ένα μπουτόν, μόνο που εμπεριέχει και δύο επαφές μία ανοιχτή και μία κλειστή (βλ. παρακάτω φωτογραφία).

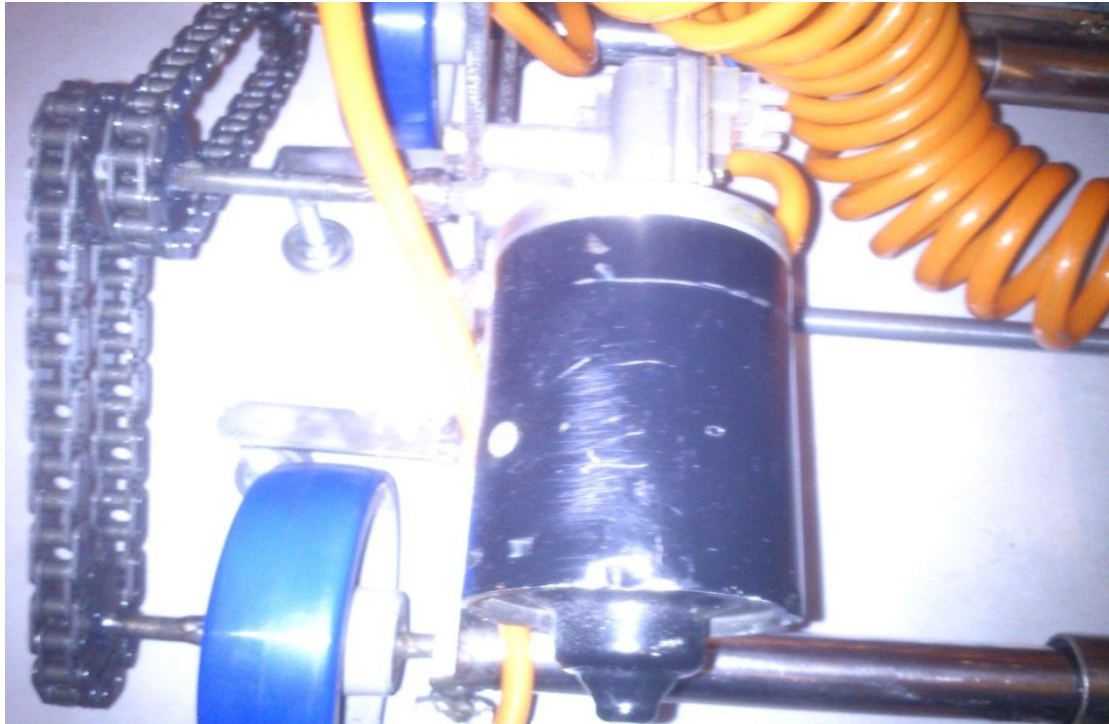


Μέσω αυτού του διακόπτη αυτού μπορέσαμε να εισάγουμε μία παραπάνω κίνηση στην αυτόματη διαδικασία, ούτως ώστε να ολοκληρώνεται ορθά όλος ο καθαρισμός του φωτοβολταϊκού πάνελ και να απενεργοποιείται στο τέλος της διαδικασίας. Βρίσκεται στο κάτω μέρος της κατασκευής, εκεί δηλαδή που θα τελειώνει ο καθαρισμός, και στο βοηθητικό κύκλωμα ο διακόπτης αυτός ονομάζεται T3.

#### 4) ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ D.C

Για την αριστερή - δεξιά και κάτω - πάνω κίνηση της κεφαλής καθαρισμού, χρησιμοποιήθηκαν δύο ηλεκτρικοί κινητήρες 12(V) D.C με μειωτήρες ( όπως αυτά των υαλοκαθαριστήρων των αυτοκινήτων). Στις φωτογραφίες που ακολουθούν φαίνεται η εφαρμογή τους στην κατασκευή μας:

*Για την δεξιά και αριστερή κίνηση*



*Για την κάτω και πάνω κίνηση*



Η δεξιά και η αριστερή κίνηση επιτεύχθηκε με την χρήση γραναζιών και αλυσίδων στον άξονα περιστροφής του μοτέρ, έτσι και έχοντας την ιδιομορφία να πραγματοποιεί ανάστροφη κίνηση, μπορέσαμε να κινούμε το μηχάνημα και στις δύο κατευθύνσεις. Αλλά η κάτω και πάνω κίνηση πραγματοποιήθηκε με την τοποθέτηση κοχλία πάνω στον άξονα του μοτέρ, όπου πάλι με την ανάστροφη κίνηση την οποία



εκμεταλλευόμαστε για να πραγματοποιήσουμε και τις δύο κινήσεις. Το ρεύμα που τραβάει το κάθε μοτέρ είναι 6,5 (A), βάση μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε..

Η κινούμενη κεφαλή της συσκευής εμπεριέχει έναν επιπλέον ηλεκτρικό κινητήρα 12(V) D.C πανομοιότυπο με τους προηγούμενους δύο, μόνο που του έχουμε αφαιρέσει τους μειωτήρες (βλ. Φωτογραφία που ακολουθεί)..



Έχοντας αυτό το μοτέρ δώσαμε παραπάνω ταχύτητα εκεί που την χρειαζόμασταν, δηλαδή στον καθαρισμό. Αυτό συμβαίνει, διότι οι σκούπες περιστρέφονται με γρηγορότερη ταχύτητα κάνοντας πιο αποτελεσματικό τον καθαρισμό του φωτοβολταϊκού πάνελ. Όπως φαίνεται το μοτέρ αυτό έχει την δικά του βάση πάνω στην κεφαλή και όταν το μετρήσαμε κατανάλωνε 6,7 (A).

## 5) ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΑΦΕΣ



Πολύ σημαντικό ρόλο στην επίτευξη του αυτοματισμού μας, είχαν οι μαγνητικές επαφές που χρησιμοποιήσαμε. Οι μαγνητικές αυτές επαφές (βλ. παραπάνω Φωτογραφία) μοιάζουν με τους συναγερμούς που υπάρχουν για της πόρτες, τον μαγνήτη παγίδα και λειτουργούν ως ανοιχτές επαφές. Το σχήμα όμως των δικών μας μαγνητικών είναι κυλινδρικό και αυτό για τον λόγο ότι, οι μαγνητικές αυτές σφηνώθηκαν σε τρεις τρύπες που έγιναν σε έναν κάθετο σωλήνα της κατασκευής. Η κάθε τρύπα έχει ίση απόσταση με την άλλη, όσο είναι το μήκος της σκούπας μας δηλαδή. Το κινούμενο μοτέρ που βρίσκεται στην κεφαλή έχει τον άλλον μαγνήτη που ενεργοποιεί τις επαφές να κλείσουν.

Εδώ είναι και το μεγάλο μυστικό, της πραγματοποίησης της αυτόματης διαδικασίας. Εφόσον οι μαγνητικές επαφές είχαν τοποθετηθεί κάθετα, θεωρήσαμε ότι η πρώτη, με την τρίτη κατά σειρά θα πραγματοποιούσαν την ίδια λειτουργία οπότε συνδέθηκαν σε σειρά μεταξύ τους. Η λειτουργία που έχουν οι επαφές αυτές είναι να ελέγχουν την άνοδο και την κάθοδο της κεφαλής καθαρισμού στην αυτοματοποιημένη διαδικασία τελειοποιώντας την. Έτσι κάνοντας έναν σωστό συνδυασμό των επαφών αυτών και ονομάζοντας τον μονά – ζυγά, βραχυκυκλώσαμε δηλαδή το TL με την πρώτη και τρίτη επαφή (M1) και το TR με την δεύτερη επαφή (M2). Επομένως όταν η συσκευή βρισκόταν στο αριστερό άκρο και ενεργοποιούταν το TL τότε οι μαγνητικές γίνονται 0 1 0, όπου 1 είναι ενεργοποιημένη και 0 απενεργοποιημένη . Αντίστοιχα όταν βρίσκεται στο δεξί άκρο και ενεργοποιηθεί το



ΤR τότε γίνονται 1 0 1, στην ουσία απενεργοποιείται η μαγνητική στην οποία βρίσκεται ο κινητήρας της κεφαλής καθαρισμού και κατεβαίνει στην επόμενη που είναι ενεργοποιημένη και θα κόψει την κάθοδο στο σημείο που εμείς έχουμε ορίσει.

## 6) ΚΑΛΩΔΙΑ



Για την πραγματοποίηση της όλης συνδεσμολογίας της κατασκευής, χρησιμοποιήσαμε πάνω από 60 μέτρα πολύκλωνο καλώδιο 2 X 0,75 (PVC) (βλ. παραπάνω φωτογραφία). Αυτό είναι και το κύριο ουσιαστικό μειονέκτημα της χρήσης των ηλεκτρονόμων, ο χώρος δηλαδή που καταλαμβάνουν μαζί με την καλωδίωση τους. Όμως εξασφαλίζουν μια σιγουριά και σταθερότητα στον αυτοματισμό που δημιουργείς.

## 7) ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ

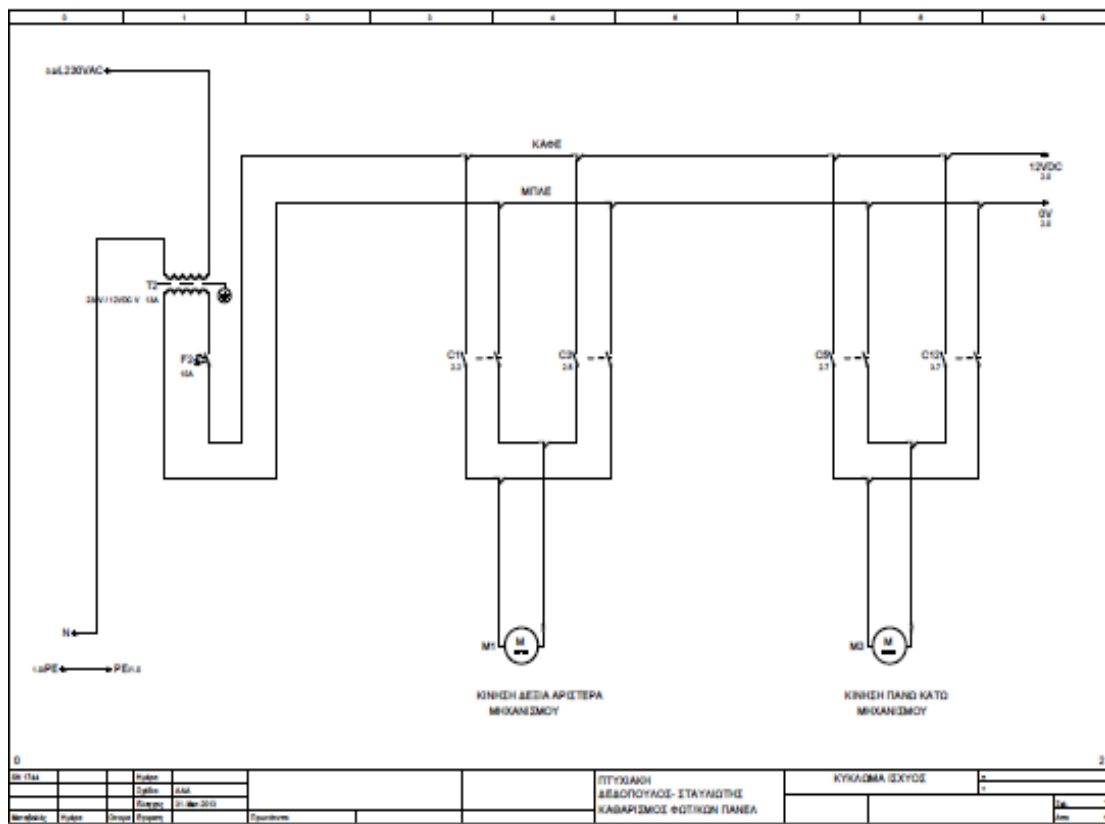
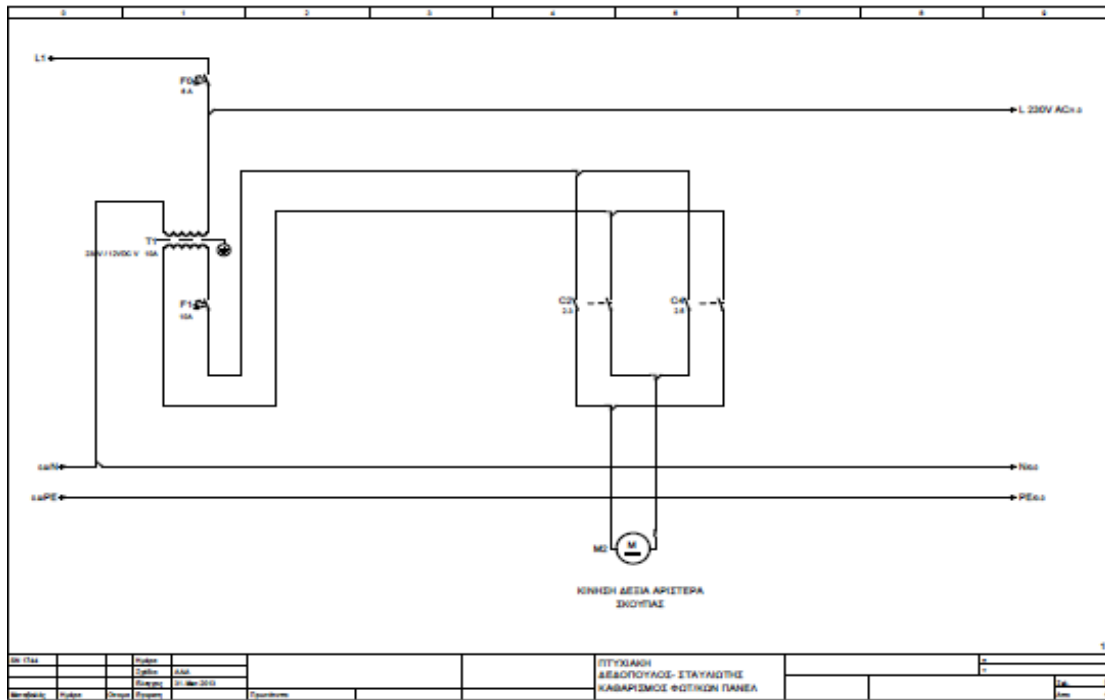


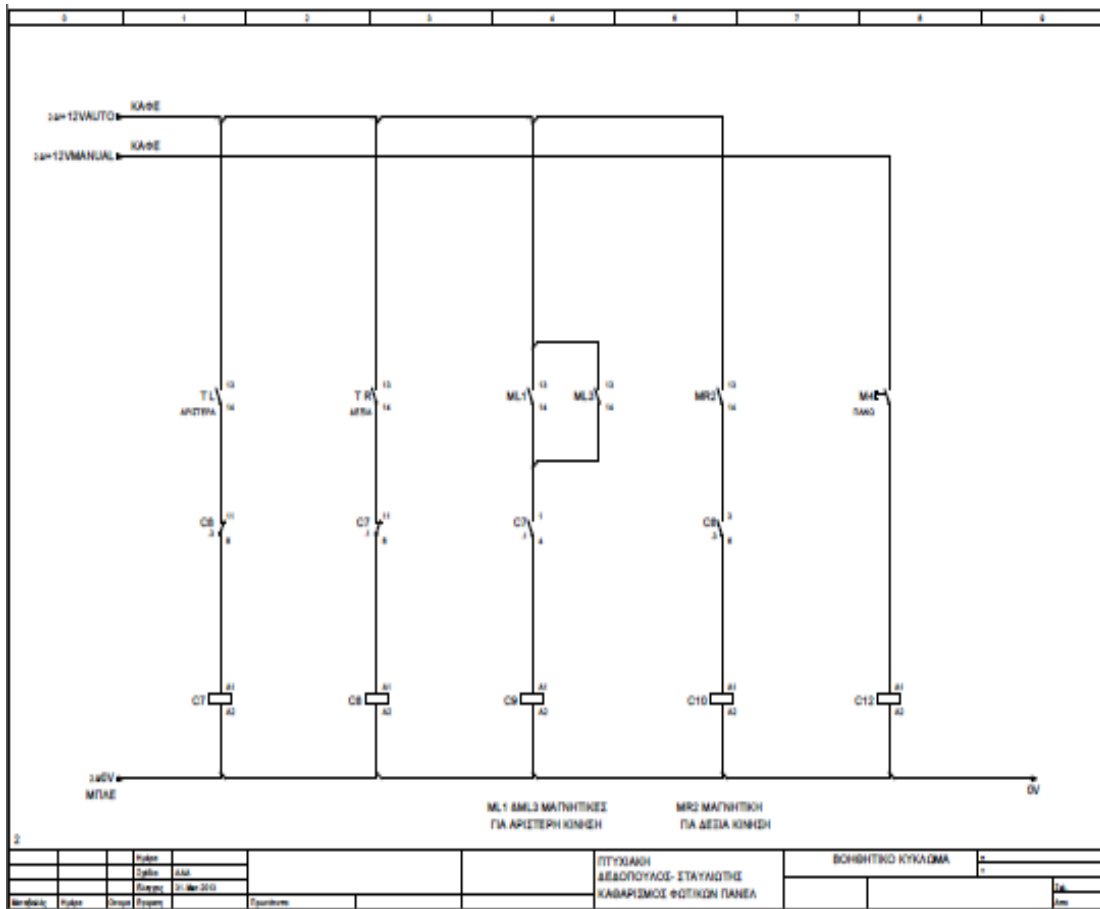
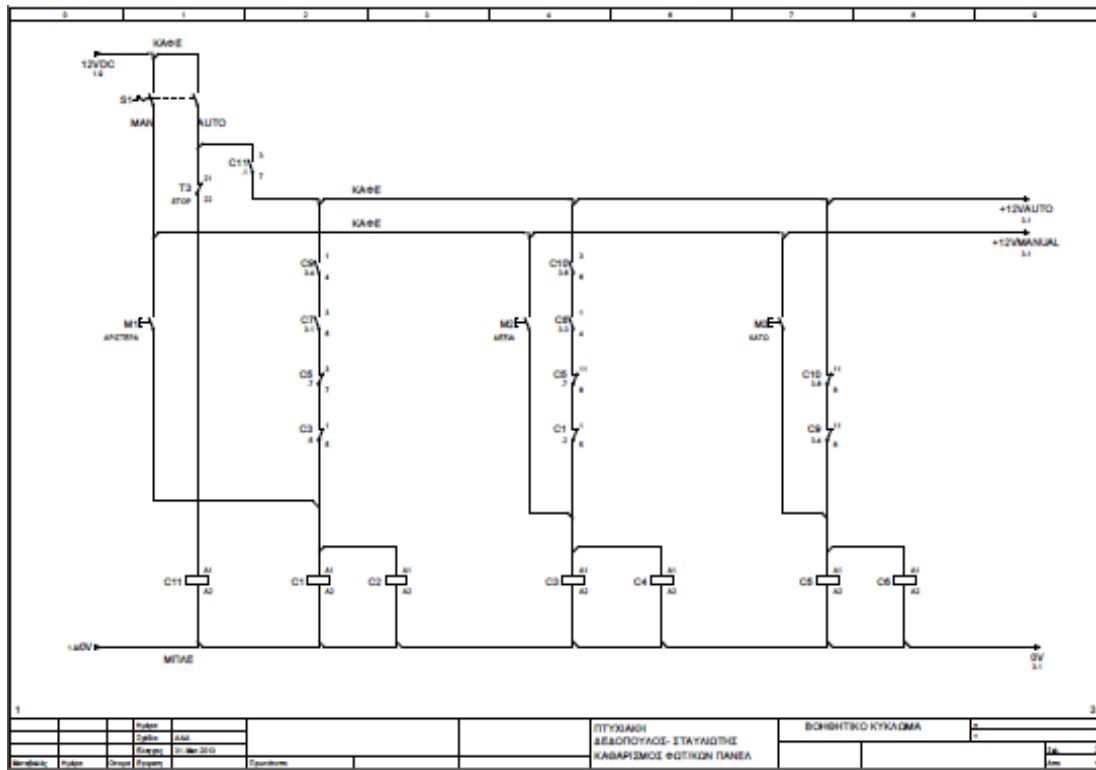
Οι ηλεκτρονόμοι που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή μας είναι τύπου MK3P-I και έχουν 3 επαφές ο καθένας πάνω του (βλ. παραπάνω φωτογραφία). Οι ηλεκτρονόμοι λειτουργούν με τάση 12 (V) D.C και έχουν την ικανότητα χειρισμού φορτίων μέγιστης έντασης 5(A) στις κλειστές επαφές και 10(A) στις ανοιχτές επαφές. Το πηνίο των ηλεκτρονόμων είναι συνεχούς ρεύματος, για τον λόγο ότι το περιβάλλον που θα χρησιμοποιηθούν είναι η D.C πλευρά του φωτοβολταϊκού συστήματος και μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε από τα πάνελ είτε από τη συστοιχία των μπαταριών ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Λήφθηκε υπ' όψιν ότι η κατασκευή είναι προτιμότερο να λειτουργεί κατά την διάρκεια της νύχτας, για την αποφευχθεί το φαινόμενο της σκίασης το οποίο μπορεί να μειώσει την απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα η κατασκευή να λειτουργεί κατά την διάρκεια της μέρας, εφόσον έχει προβλεφθεί η τοποθέτηση διόδων παράκαμψης (by-pass diode), για την προστασία των πάνελ σε ένα σύστημα χωρίς συστοιχία συσσωρευτών ανεβάζοντας όμως το κόστος της εγκατάστασης.



Παρακάτω παρατίθεται το κύκλωμα ισχύος και το βοηθητικό τα οποία έχουν σχεδιασθεί με το πρόγραμμα EPlan 5.70

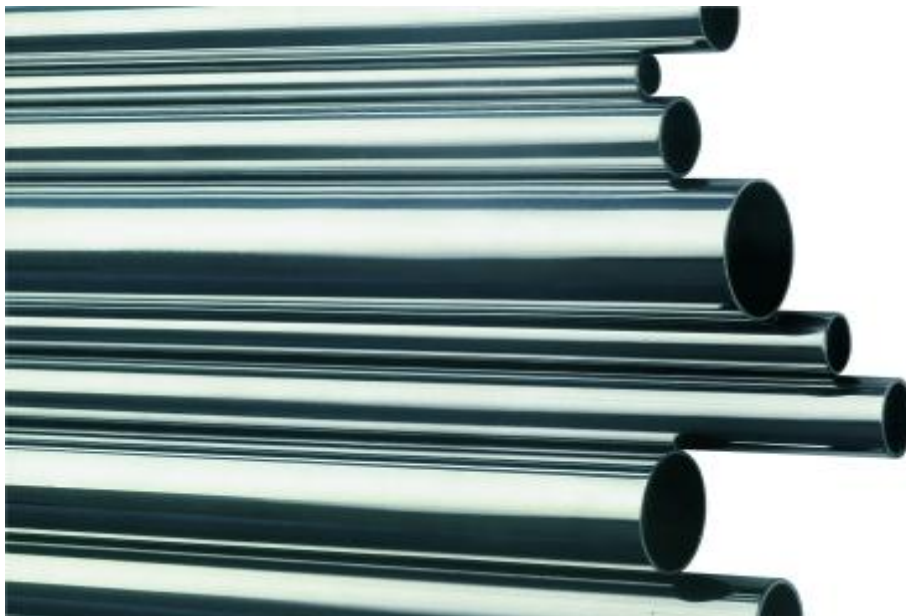




## 6. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΜΑΣ

Τα μηχανολογικά υλικά ουσιαστικά είναι ο σκελετός της κατασκευής, το καθένα έχει τη δικιά του χρησιμότητα πάνω στην διαδικασία καθαρισμού, όπου παρακάτω παρατίθενται όλος ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρειάστηκε για την πραγματοποίηση της κατασκευής:

### 1) ΣΙΔΕΡΑ (INOX)



Ο κύριος σκελετός του μηχανήματος αποτελείται από 2 σίδερα 1.35 (m), εξωτερικής διατομής 21 (mm) και εσωτερικής διατομής 19 (mm) όπου συγκρατήθηκαν σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους με δύο λάμες μήκους 20 (cm) πλάτους 5(cm) και πάχους 5 (mm) (βλ. φωτογραφία παραπάνω). Οι δύο κάθετοι αυτοί σωλήνες είναι οδηγοί για την πάνω και κάτω κίνηση των σκουπών. Ένας τρίτος σωλήνας ίδιων χαρακτηριστικών τοποθετήθηκε παράλληλα και σε ψηλότερο σημείο και τον χρησιμοποιήσαμε για να τοποθετήσουμε κατά μήκος του τις μαγνητικές επαφές.

## 2) ΡΟΥΛΕΜΑΝ ΚΑΙ ΑΞΟΝΕΣ



Τα ρουλεμάν και οι άξονες χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση δύο βασικών κινήσεων (βλ. παραπάνω φωτογραφία). Για την ολική κίνηση της συσκευής από αριστερά προς τα δεξιά και αντίστροφα, τοποθετήθηκαν στους δύο σωλήνες που στηρίζουν την κεφαλή δύο άξονες μήκους 1.55 (m) και διατομής 6 (mm), όπου μετά κόπηκαν στο κατάλληλο μήκος. Επίσης στα άκρα και στο μέσον των δύο βασικών σωλήνων τοποθετήθηκαν 3 ρουλεμάν εξωτερικής διαμέτρου 19 (mm) και εσωτερικής διαμέτρου 6 (mm), δηλαδή 6 στο σύνολο τους.

Εκτός όμως από τον κύριο σκελετό, χρειαστήκαμε 2 κομμάτια ίδιου σωλήνα μήκους 40 (cm) για την κατασκευή των 2 σκουπών. Τα 2 αυτά κομμάτια σωλήνα τρυπήθηκαν σε όλο τους το μήκος και εκχύσαμε στο εσωτερικό τους σιλικόνη για να μπορέσουν να κρατηθούν οι ίνες από πλαστικό που αφαιρέσαμε από κοινές σκούπες. Με αυτή τη διαδικασία καταφέραμε να φτιάξουμε τις δικές μας περιστρεφόμενες σκούπες και να μειώσουμε κατά πολύ το κόστος κατασκευής.





Στα άκρα τώρα των δύο σκουπών τοποθετήθηκαν 2 κομμάτια σωλήνα μεγαλύτερης διαμέτρου για να τις συγκρατούν σε σταθερό σημείο, και επίσης στα 4 άκρα των σκουπών (βλ. παραπάνω φωτογραφία) βάλαμε 4 μπίλιες απο ρουλεμάν βαρέου τύπου ώστε να μπορούν να περιστρέφονται με μειωμένες τριβές.

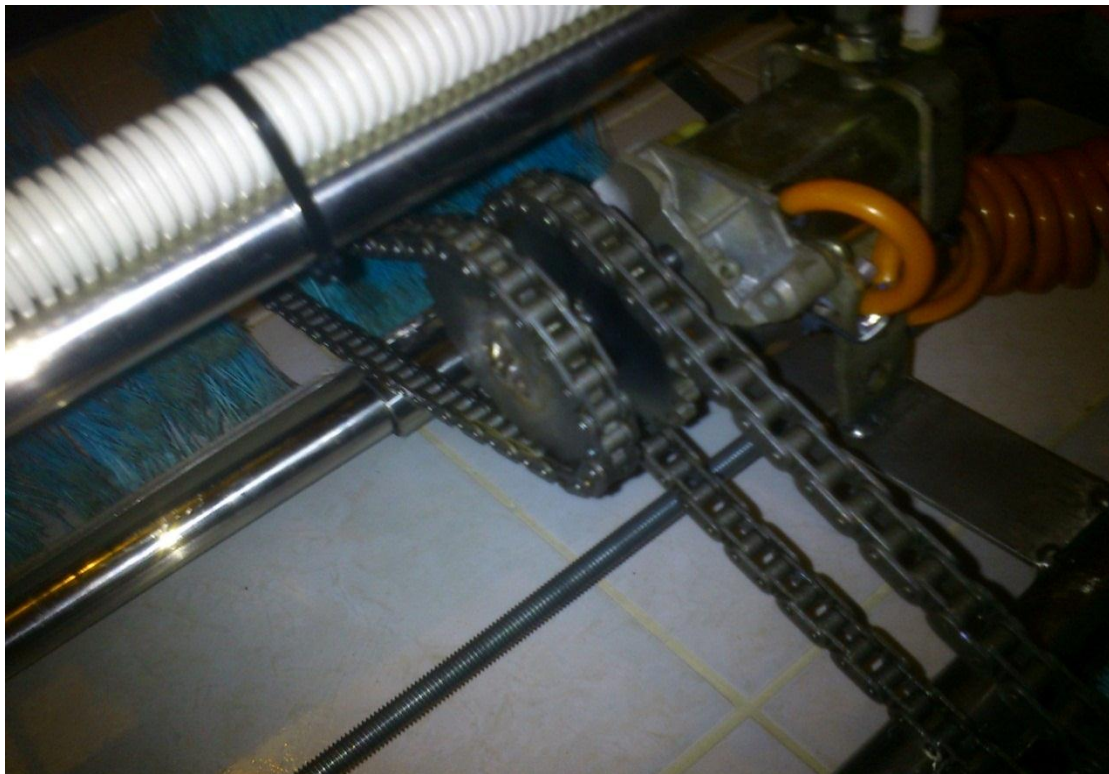
### 3) ΓΡΑΝΑΖΙΑ ΚΑΙ ΑΛΥΣΙΔΕΣ

Για την μετάδοση της κίνησης από τους κινητήρες προς τα κινούμενα μέρη χρησιμοποιήθηκε σύστημα μετάδοσης της κίνησης με γρανάζια και αλυσίδες. Η σχέση μετάδοσης των γραναζιών για την κίνηση αριστερά - δεξιά είναι 1:1 και για την κίνηση των σκουπών 2:1. Η λύση αυτή επιλέχθηκε λόγω της μεγάλης αξιοπιστίας και μικρής ανάγκης συντήρησης των γραναζιών που παρουσιάζεται από το συγκεκριμένο σύστημα. Η τάνυση των αλυσίδων έχει υπολογιστεί για γωνία  $30^\circ$  ως προς τον οριζόντιο άξονα που είναι και η κλίση στην οποία τα φωτοβολταϊκά στο γεωγραφικό πλάτος της χώρας αποδίδουν τα μέγιστα. Στις φωτογραφίες που ακολουθούν τα συστήματα μετάδοσης της κίνησης της συσκευής.

*Σύστημα μετάδοσης κίνησης δεξιάς και αριστερής της συσκευής*



*Σύστημα μετάδοσης κίνησης δεξιάς και αριστερής των σκουπών*



#### 4) ΚΟΧΛΙΑΣ

Για την πάνω - κάτω κίνηση του μηχανισμού και επειδή η ταχύτητα δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στην κίνηση αυτή επιλέχθηκε η μετάδοση της κίνησης μέσω ατέρμονα κοχλία (βλ. παρακάτω φωτογραφία) πολλαπλασιάζοντας την ροπή την οποία μπορεί να ασκήσει ο ηλεκτρικός κινητήρας λαμβάνοντας υπόψη και πιθανή αύξηση του βάρους της κατασκευής στο μέλλον.



#### 5) ΡΟΔΕΣ

Η κίνηση αριστερά - δεξιά επάνω στο φωτοβολταϊκό πάνελ γίνεται μέσω ροδών διαμέτρου 10 (mm) από καουτσούκ εξασφαλίζοντας την ομαλή μετακίνηση επάνω στο πάνελ αριστερά και δεξιά χωρίς να χαράζει την εξωτερική επιφάνεια του πάνελ (βλ. παρακάτω φωτογραφίες). Η συγκεκριμένη διάμετρος επιλέχθηκε για να μπορεί να υπερπηδήσει μικροανωμαλίες στην επιφάνεια του πάνελ (από χτυπήματα κτλ) που σε μικρότερη διάμετρο μπορεί να προκαλούσαν το μπλοκάρισμα της κίνησης.



## 7. ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ

### Πρόβλημα τροφοδότησης κυκλώματος

Λόγω κατασκευαστικών ιδιομορφιών στα τροφοδοτικά των υπολογιστών εμφανίζεται πολλές φορές το φαινόμενο της αδυναμίας έναυσης του τροφοδοτικού κατά την λειτουργία χωρίς φορτίο. Η εκκίνηση ενός τέτοιου τροφοδοτικού (switching mode power supply) χωρίς φορτίο παρουσιάζει τον κίνδυνο της καταστροφής του τροφοδοτικού ή του ευαίσθητου σε διακυμάνσεις τάσης φορτίου. Για να αντιμετωπίσουμε αυτό το μειονέκτημα τοποθετήσαμε μία αντίσταση τιμής 220 ( $\Omega$ ) ως ένα μόνιμο φορτίο στα άκρα της εξόδου των 5 (V), ούτως ώστε να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε πλήρως το τροφοδοτικό μας. Με την αντίσταση αυτή εξασφαλίζουμε την σίγουρη έναυση του τροφοδοτικού και την σωστή λειτουργία των κυκλωμάτων σταθεροποίησης τάσης που εμπεριέχονται σε αυτό (βλ. παρακάτω φωτογραφία).





### **Πρόβλημα επαφών των ηλεκτρονόμων**

Για την τροφοδότηση της ακροδεκτών του κάθε κινητήρα χρειάστηκαν δύο ανοιχτές επαφές, πράγμα που έκανε πιο πολύπλοκο το κύκλωμα και με περισσότερα υλικά. Ο κάθε ηλεκτρονόμος είχε τρεις επαφές που της χρησιμοποιούσες όπως ήθελες, άρα χρειάστηκαν και άλλοι ηλεκτρονόμοι για τον έλεγχο της κίνησης, οι οποίοι παραλληλίσθηκαν με τους εκάστοτε που υπήρχαν ήδη στο κύκλωμα. Οι παραλληλισμοί ήταν απαραίτητοι διότι στο κύκλωμα του αυτοματισμού οι επαφές αυτές χρησιμοποιήθηκαν είτε για μανδαλώσεις, είτε για αλληλομανδαλώσεις και άλλους χρήσιμους σκοπούς, ο καθένας με την δικιά του ιδιαίτερη σημασία.

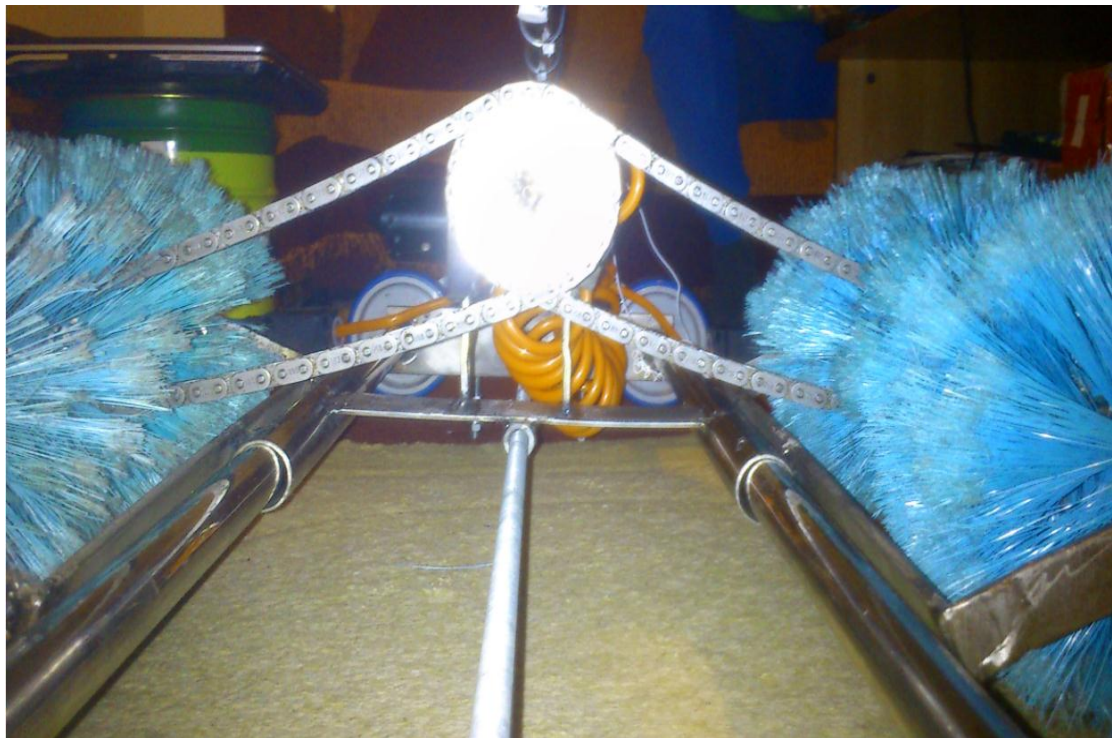
### **Πρόβλημα ορθής λειτουργίας ηλεκτρικού κινητήρα περιστροφής σκουπών**

Στις αρχικές δοκιμές που πραγματοποιήσαμε οι περιστροφή των σκουπών γινόταν με δυσκολία, πράγμα καταστροφικό για την κατασκευή, διότι χωρίς περιστροφή δεν γινόταν και καθαρισμός. Αυτό συνέβαινε, λόγω του ότι ο κινητήρας βρισκόταν 2(mm) πιο πάνω από την καθορισμένη θέση στην οποία θα έπρεπε να βρισκόταν. Επομένως ο άξονας ουσιαστικά δεχόταν τα γρανάζια και τις αλυσίδες ως επιπρόσθετο φορτίο, μαγκώνοντας τον έτσι και μη επιτρέποντας του να περιστραφεί. Η κατασκευή όμως συγκρατούσε αυτό το μοτέρ σε μία χειροποίητη και αυτοσχέδια βάση, η οποία και μας έδωσε την μεγάλη δυνατότητα μαζί με το λύγισμα της λάμας συγκράτησης της βάσης να φέρουμε σε αρμονία το σύστημα μετάδοσης κίνησης για την περιστροφή των σκουπών.



### **Πρόβλημα εισαγωγής αλυσίδων**

Τα γρανάζια είχαν ήδη συγκολληθεί πριν την εισαγωγή των αλυσίδων, οπότε και η εισαγωγή τους ήταν δύσκολη. Οι δυσκολίες όμως αντιμετωπίστηκαν, έχοντας την δυνατότητα να κόψουμε την αλυσίδα στο μήκος που μας βόλευε. Έτσι καταφέραμε να τις εισάγουμε και να της ρυθμίσουμε ούτως ώστε να είναι λίγο «χαλαρές», όσο χρειάζεται για να μην βγαίνουν από τα γρανάζια.



### **Πρόβλημα εισαγωγής γранаζιών στις σκούπες**

Οι σκούπες είχαν ήδη φτιαχτεί πριν την εισαγωγή των γранаζιών στο μέσο τους. Αυτό συνέβη γιατί το αρχικό σχέδιο είχε τα γранаζία σε άλλη θέση, αλλά έχοντας τα στο μέσο μπορέσαμε να καθορίσουμε και να ελέγξουμε καλύτερα των χειρισμό τους. Η εισαγωγή πραγματοποιήθηκε κόβοντας τα σίδερα στην μέση και συγκολλώντας το γранаζι, διαδικασία λεπτή και επίπονη.



### **Πρόβλημα ορθής λειτουργίας μαγνητικών επαφών**

Κατά την κάθοδο της συσκευής και όταν ο κινούμενος μαγνήτης έφτανε κοντά στην μαγνητική επαφή, την ενεργοποιούσε, αλλά λόγω της μικρής μαγνήτισης η επαφή δεν συγκρατούταν και έτσι λειτουργούσαν όλες οι κινήσεις μαζί ταυτόχρονα. Οπότε μέλημα μας ήταν να αυξήσουμε αυτήν την μαγνήτιση με κάποιον τρόπο. Τελικά η λύση δόθηκε με την χρήση δύο στρογγυλών μαγνητών διαμορφωμένοι κατά τέτοιο τρόπο ώστε, φτάνοντας στην επαφή να την ενεργοποιούν. Τοποθετώντας τους διαφορετικά δεν θα γινόταν πάλι η αλλαγή που επιδιώκαμε.





## 8. ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΓΙΝΟΝΤΑΙ Σ.Α.Ε

Η εξέλιξη έχει φέρει στην ζωή μας την τεχνολογία, για να την κάνει πιο εύκολη και διασκεδαστική. Η χρήση αυτοματοποιημένων προγραμμάτων και επιτεύγματα ρομποτικής είναι οι διάφορες χρήσεις της τεχνολογίας, με σκοπό την διευκόλυνση της καθημερινότητας μας και την αποφυγή ανθρωπίνων λαθών σε καταστάσεις όπου η ακρίβεια είναι πρωταρχικός στόχος.

Οι ηλεκτρονόμοι όμως ως αυτοματισμοί στις μέρες μας αρχίζουν να αντικαθιστούνται από μικρότερα σε μέγεθος, αλλά ακριβότερα σε κόστος υλικά. Έχοντας σκοπό να δημιουργήσουμε ουσιαστικά μια συσκευή καθαρισμού η οποία θα λειτουργεί σαν ένα ρομπότ, πραγματοποιώντας τις δικές του αυτόνομες λειτουργίες, προσπαθήσαμε να το πετύχουμε με την χρήση των ηλεκτρονόμων, έχοντας διδαχθεί σωστά την χρήση τους. Η πραγματοποίηση της κατασκευής με αυτόν τον τρόπο αποκτά μια παραπάνω πολυπλοκότητα, όσο αναφορά τον χώρο, τον αριθμό των καλωδίων που χρησιμοποιήθηκαν και τις συνδεσμολογίες που κάναμε. Όμως παρά όλα αυτά με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίσαμε μια σίγουρη λειτουργία η οποία δεν αλλάζει με εντολές παρά μόνο με τον έλεγχο του βοηθητικού κυκλώματος και των άλλων παραμέτρων της κατασκευής.

Το σημαντικότερο προτέρημα που έχει η κατασκευή μας, είναι ότι μπορούμε να την χειριστούμε ως ρομπότ και να καθοδηγήσουμε την κεφαλή καθαρισμού, σε όποιο σημείο του φωτοβολταϊκού πάνελ επιθυμούμε, με σκοπό τον τοπικό καθαρισμό στο σημείο που επιλέξαμε.



Παρακάτω φαίνεται η κατασκευή μας ολοκληρωμένη



## 8.1. ΟΙ ΩΦΕΛΕΙΕΣ ΠΟΥ ΑΠΟΡΕΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΑΣ

Ο κλάδος των φωτοβολταϊκών συστημάτων και γενικά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει στις μέρες μας μια ραγδαία ανάπτυξη. Όπως προαναφέραμε στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες θα πρέπει να αποφεύγονται τα διάφορα προβλήματα, ούτως ώστε να είναι πιο κερδοφόρες και αποτελεσματικές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα της κατηγορίας αυτής είναι η ανεπιθύμητη σκονη ή ρύποι που εμφανίζονται στα φωτοβολτϊκά πάνελ.

Οπότε για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων οι ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών πάρκων και γενικά οι εταιρίες παραγωγής φωτοβολταϊκών συστημάτων, ακολουθούν απλούς τρόπους για την καθάριση των πάνελ, οι οποίοι δεν είναι και τόσο αποτελεσματικοί. Έχοντας τα πάνελ κοντα σε φυτά που με την γύρη τους δημιουργούν στρώμα επικάλυψης πανω στο πάνελ, όπως και με τους διάφορους άλλους ρύπους που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα μειώνουν κατά πολύ την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εως και 60%. Οι καθαρισμοί γίνονται είτε με μπεκ που ψεκάζουν απιονισμένο νερό με πίεση, είτε με χειροκίνητες βούρτσες που βγάζουν νερό και είτε και με τα δύο μαζί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα από την μία να μην καθαρίζονται πλήρως οπότε να παραμένει μια μείωση στην απόδοση, και από την άλλη δημιουργία της ανάγκης για συνεχή καθαρισμό με αύξηση των λειτουργικών εξόδων της εγκατάστασης.

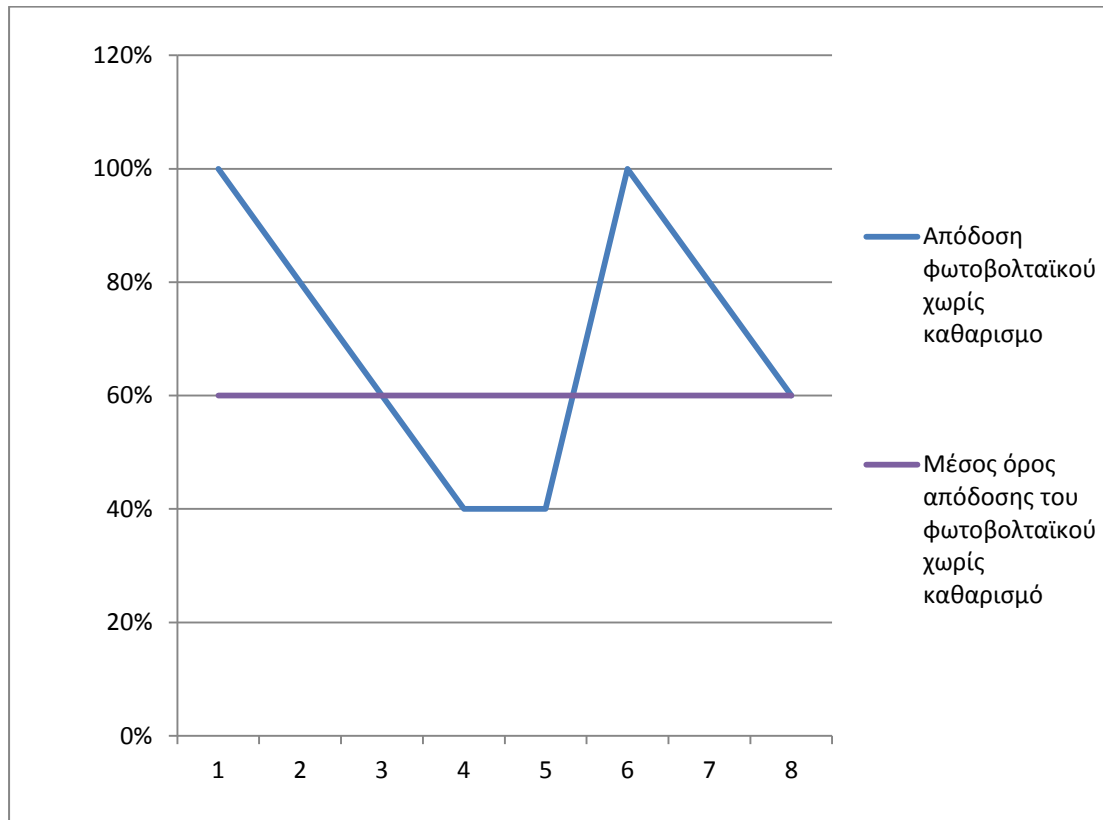
Φωτογραφίες από χειροκίνητο καθαρισμο



Πηγη: [<http://www.katharismos-photovoltaikon.gr/?q=node/3> ]



Διάγραμμα απόδοσης φωτοβολταϊκού με χειροκίνητο καθαρισμό σε τακτά χρονικά διαστήματα



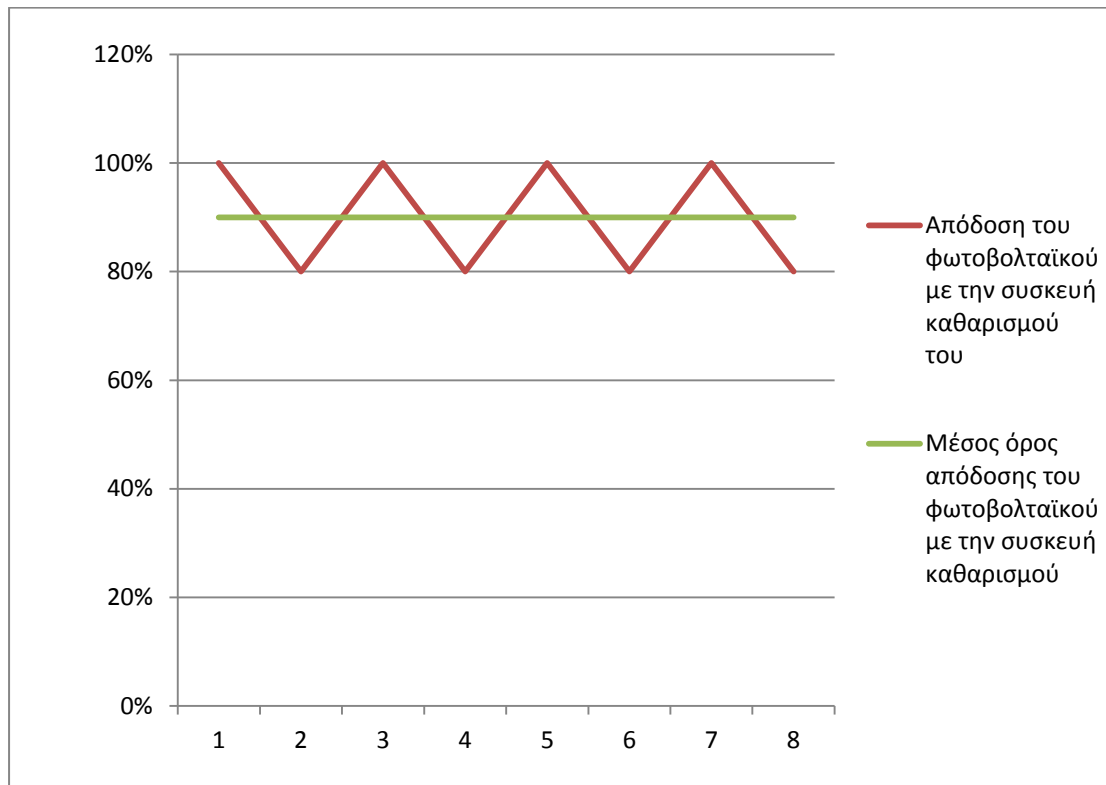
Παραπάνω βλέπουμε την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού, καθαρίζοντας το με χειροκίνητα μέσα, με χρονικά διαστήματα ανά καθαρισμό 4 εβδομάδες.

Ο μέσος όρος απόδοσης της εγκατάστασης κυμαίνεται κοντά στο 60% της ονομαστικής απόδοσης, προκαλώντας οικονομική ζημιά και ανάγκη επίβλεψης της εγκατάστασης για τον προσδιορισμό της ποσότητας των ρύπων που έχουν επικαθίσει στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες.

Με την κατασκευή μας προσπαθήσαμε να αποφεύγουμε την χρήση πολλών μέσων και την ανάγκη ύπαρξης προσωπικού κατά την διάρκεια του καθαρισμού. Συνδυάζοντας τον ψεκασμό νερού με μπέκ και την ορθή χρήση των σκουπών, καταφέραμε να έχουμε το πιο αποτελεσματικό καθαρίσμα όλου του φωτοβολταϊκού πάνελ με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Το αποτέλεσμα είναι να μας δίνει το φωτοβολταϊκό ένα ποσοστό ισχύος το οποίο δεν συγκρίνεται με τον χειροκίνητο καθαρισμό, και την ευκολία χρήσης της συσκευής η οποία φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα απόδοσης φωτοβολταϊκού με την χρήση της συσκευής καθαρισμού στο αυτόματο

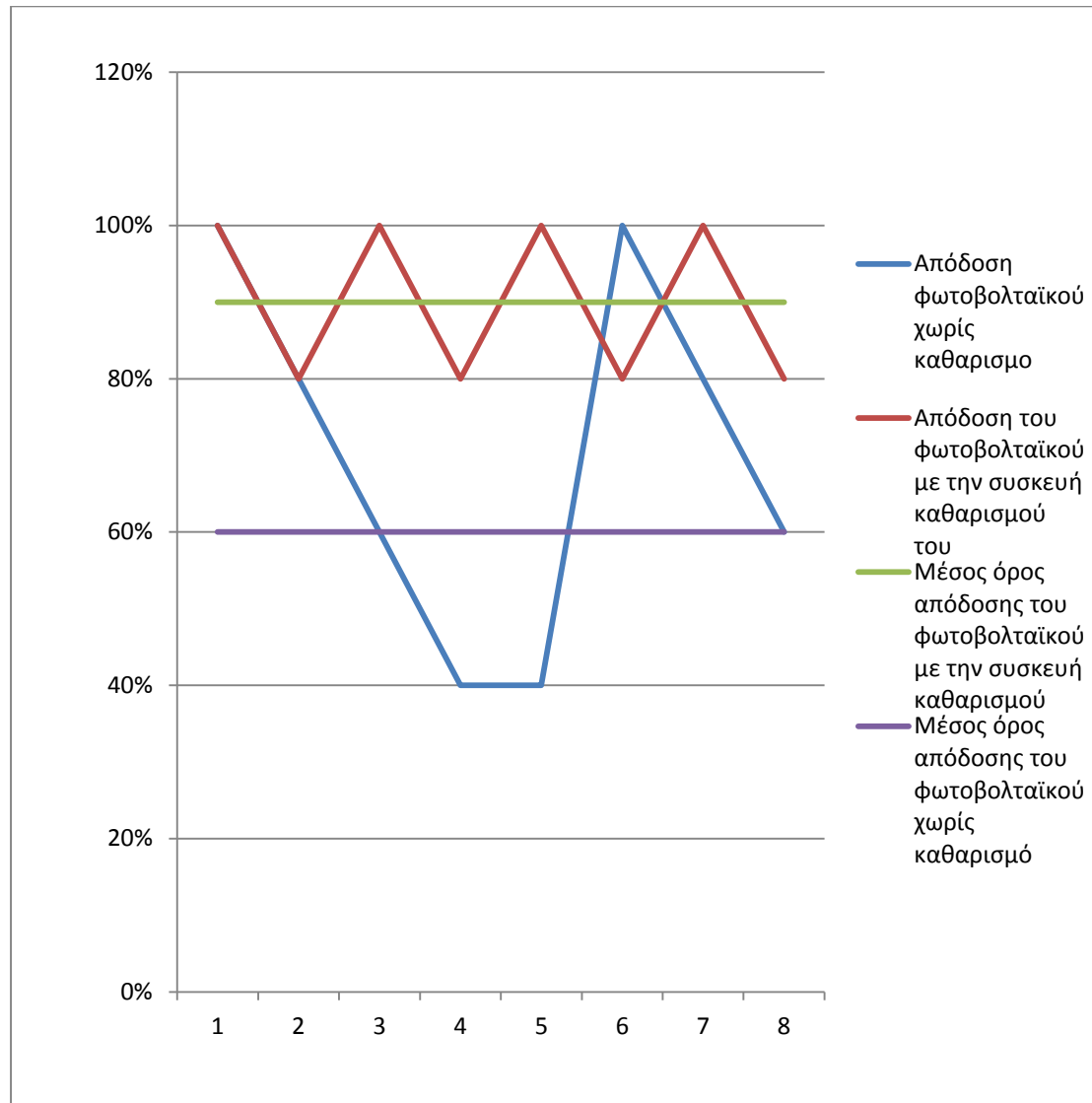


Όπως φαίνεται έχοντας το μηχάνημα μας σε αυτόματη λειτουργία και ρυθμίζοντας το να εκκινεί μία φορά ανά εβδομάδα και ο καθαρισμός να γίνεται το βράδυ, για να αποφευχθεί τυχόν σκίαση, με έναν χρονοδιακόπτη, με την χρήση της συσκευής καθαρισμού ο μέσος όρος απόδοσης της εγκατάστασης κυμαίνεται στο 90%. Ο καθαρισμός γίνεται ανά πιο μικρά χρονικά διαστήματα, λόγω της αυτοματοποίησης της διαδικασίας.

Η διαφορά αυτή φαίνεται στο παρακάτω μικτό διάγραμμα.



Τα δύο διαγράμματα συγκρινόμενα μεταξύ τους



Τελικά η ιδέα της κατασκευής αυτής είχε ως προορισμό την μείωση των πολλών εξόδων και την αύξηση των εσόδων. Έχοντας ως μεγάλο πλεονέκτημα την εύκολη χρήση του, τοποθετώντας το απλά στο φωτοβολταϊκό πάνελ και κάνοντας αυτοματοποιημένα όλες της διαδικασίες και αν χρειαστεί, μπορούμε και χειροκίνητα να καθαρίσουμε μια συγκεκριμένη επιφάνεια με το πάτημα απλών μπουτόν για την καθοδήγηση της συσκευής.





## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Βλασσόπουλος, Γ. (2002): Σημειώσεις Εργαστηρίου «Ε.Η.Ε και Αυτοματισμοί»

Δαπόντες, Ν. (2011). <http://makolas.blogspot.gr/2011/06/scratch.html>. όπως εμφανίστηκε στις 1/3/2013.

Ηλεκτροτεχνική (2009). «Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο» [http://free-energia.blogspot.gr/2009/12/blog-post\\_3390.html](http://free-energia.blogspot.gr/2009/12/blog-post_3390.html), όπως εμφανίστηκε στις 25/2/2013.

Κρητικός, Κ.: <http://www.24grammata.com/?p=17935>, όπως εμφανίστηκε στις 1/3/2013.

Μυγιάκης, Μ. (2011). «Μπήκαν στη ζωή μας τα φωτοβολταϊκά». Saronic Magazine. (Μάρτιος 20, 2011).

Παπαδοπούλου, Φ. (2012). «Δίοδος PN, διπολικό τρανζίστορ, FET, SCR, TRIAC, εφαρμογές». <http://13epal-esp-thss.thess.sch.gr/info-pn1.htm>, όπως εμφανίστηκε στις 25/2/2013.

Ρίζος, Δ. (2012): «Αρχή λειτουργίας των Φωτοβολταϊκών'». <http://rizosdimitris.blogspot.gr/>), όπως εμφανίστηκε στις 25/2/2013.

Φραγκόπουλου, Γ., Στ. (2012). *Ιστορία της Τεχνολογίας, Ηλεκτροκίνηση, Επιστημοποίηση*. <http://sfrang.com/historia/selida600/604.htm>. όπως εμφανίστηκε στις 27/2/2013.

## **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

- 1) <http://www.tmltd.gr/solar/solar-energy.htm>, όπως εμφανίστηκε στις 25/2/2013.
- 2) <http://1gym-ag-parask.att.sch.gr/environment/iliako/energy/iliaki/index.htm>, όπως εμφανίστηκε στις 25/2/2013.
- 3) [http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE\\_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1), όπως εμφανίστηκε στις 25/2/2013.
- 4) <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=286>, όπως εμφανίστηκε στις 25/2/2013.
- 5) <http://www.vasileiadis.eu/iiiiiii/index.html> ], όπως εμφανίστηκε στις 25/2/2013.
- 6) <http://www.selasenergy.gr/history.php> ], όπως εμφανίστηκε στις 25/2/2013.
- 7) <http://www.helioenergy.gr/en/14/> όπως εμφανίστηκε στις 26/2/2013.





- 8) [http://el.wikipedia.org/wiki/ Φωτοβολταϊκά](http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκά) , όπως εμφανίστηκε στις 26/2/2013.
- 9) <http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-8.html> ], όπως εμφανίστηκε στις 26/2/2013.
- 10) <http://www.novel-es.gr/content.aspx?cid=334&aid=495>, όπως εμφανίστηκε στις 26/2/2013.
- 11) <http://www.faethonsolar.com/GR-faq-paragodes.html> , όπως εμφανίστηκε στις 26/2/2013.
- 12) <http://electrology.mysch.gr/?p=281> , όπως εμφανίστηκε στις 27/2/2013.
- 13) [http://greek.ac-servodriver.com/china-ptc\\_thermistor\\_waterproof\\_permanent\\_magnetic\\_three\\_phase\\_ac\\_synchronous\\_servo\\_motor-328496.html](http://greek.ac-servodriver.com/china-ptc_thermistor_waterproof_permanent_magnetic_three_phase_ac_synchronous_servo_motor-328496.html) , όπως εμφανίστηκε στις 28/2/2013.
- 14) [http://www.stepper-dc-motor.com/photo/pl481686-63jw\\_63zy105\\_24v\\_2000\\_3000rpm\\_low\\_current\\_pm\\_dc\\_worm\\_gear\\_geared\\_motor.jpg](http://www.stepper-dc-motor.com/photo/pl481686-63jw_63zy105_24v_2000_3000rpm_low_current_pm_dc_worm_gear_geared_motor.jpg) , όπως εμφανίστηκε στις 28/2/2013.
- 15) <http://makolas.blogspot.gr/2011/06/scratch.html>. όπως εμφανίστηκε στις 1/3/2013.
- 16) [ [http://www.mototriti.gr/data/news/preview\\_news/94215.asp#photo1](http://www.mototriti.gr/data/news/preview_news/94215.asp#photo1) ], όπως εμφανίστηκε στις 2/3/2013.
- 17) [ <http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρονόμος> ], όπως εμφανίστηκε στις 2/3/2013.
- 18) [ <http://greekelectrician.blogspot.gr/2011/01/blog-post.html> ], όπως εμφανίστηκε στις 2/3/2013.
- 19) <http://techteam.gr/forum/topic/12509-hlektronomoi--Relays---> ], όπως εμφανίστηκε στις 3/3/2013.
- 28) [ <http://www.andywhittaker.com/Cars/LotusEspritGT3/MainBeamModification.aspx> ], όπως εμφανίστηκε στις 3/3/2013.
- 29) [ [http://www.pavenengineering.com/services/plc\\_conv.htm](http://www.pavenengineering.com/services/plc_conv.htm) ], όπως εμφανίστηκε στις 3/3/2013.
- 30) [ <http://www.newegg.com/Product/Product.aspx?Item=N82E16817154012> ], όπως εμφανίστηκε στις 4/3/2013.
- 31) [ <http://home-on-line.blogspot.gr/2007/11/plc.html> ], όπως εμφανίστηκε στις 4/3/2013.



32) [<http://www.katharismos-photovoltaikon.gr/?q=node/3>], όπως εμφανίστηκε στις 4/3/2013.

## **ΕΠΙΛΟΓΟΣ**

Έχοντας πραγματοποιήσει την κατασκευή οοκληρωτικά, είχαμε δημιουργήσει με απλούς ηλεκτρονόμους ένα αυτοματοποιημένο σύστημα το οποίο δεν έχει να ζηλέψει τίποτα απ' το να γινόταν με νέα τεχνολογικά υλικά. Οι γνώσεις που αποκτήσαμε έως τώρα, τέθηκαν σε εφαρμογή και μας βοήθησαν να υλοποιήσουμε την ιδέα της κατασκευής αυτής. Επίσης μπορέσαμε να δημιουργήσουμε μια εύκολη λύση στο πρόβλημα του καθαρισμού τον πάνελ με έναν πολύ οικονομικό τρόπο. Τελικά με όλα τα οφέλη τα οποία έχουμε προαναφέρει της κατασκευής αυτής, ουσιαστικά ελπίζουμε ότι βοηθήσαμε στην εξέλιξη ενός πολύ επικερδή κλάδου παραγωγής ενέργειας ειδικά στην Ελλάδα, δηλαδή των φωτοβολταϊκών συστημάτων.