

## ΣΗΕ 301

# LAB Κινητήρες (Α μέρος) (εκδοχή 01)

### 1. ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

- Να μελετήσετε την κατασκευή του (γεωμετρία κατασκευής, αρχή λειτουργίας).
- Να αναγνωρίσετε τη σήμανση της πινακίδας του κινητήρα.
- Να μετρήσετε την ισχύ που απορροφά.

### 2. ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ σε μονοφασικό δίκτυο

- Να μελετήσετε την κατασκευή του (γεωμετρία κατασκευής, αρχή λειτουργίας).

### 3. ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΔΑΚΤΥΛΙΟΦΟΡΟΥ ΔΡΟΜΕΑ

- Να μελετήσετε την κατασκευή του δακτυλιοφόρου δρομέα.

### 4. ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

- Να μελετήσετε την κατασκευή του (γεωμετρία κατασκευής, αρχή λειτουργίας).
- Να συναρμολογήσετε και να θέσετε σε λειτουργία τριφασικό κινητήρα του εργαστηρίου.
- Να αναγνωρίσετε τη σήμανση της πινακίδας του κινητήρα.

### 5. UNIVERSAL ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ (DC κινητήρας που λειτουργεί με AC τάση)

- Να μελετήσετε την κατασκευή του (γεωμετρία κατασκευής, αρχή λειτουργίας).
- Να συναρμολογήσετε τον DC εκπαιδευτικό κινητήρα και να τον θέσετε σε λειτουργία ως UNIVERSAL κινητήρα.

Στα Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα του Πολυτεχνείου Κρήτης θα βρείτε τα σχετικά video:

Στο φάκελο Lab Synchronous motors

- 6.2. Αρχή λειτουργίας σύγχρονου κινητήρα 3D animation (4:12)
- 6.3. Αρχή λειτουργίας σύγχρονης γεννήτριας 3 D animation (5:19)
- Ερωτήσεις κατανόησης ενότητας 6 (3:07)

Στο φάκελο Lab DC motors

- 4.2. Αρχή λειτουργίας DC μηχανών -3D animation(4:44)
- Ερωτήσεις κατανόησης

Στο φάκελο Lab Induction motors

- 5.2. Αρχή λειτουργίας 3-φασικής επαγωγικής μηχανής 3D animation (4:34)
- 5.3. Εκκίνηση τύπου αστέρα-τριγώνου 3D animation (5:42)
- 5.4. Αρχή λειτουργίας μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα 3D animation (4:06)
- 5.5. Χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας-ροπής επαγωγικού κινητήρα (3:25)
- 5.11. Μέθοδος εκκίνησης μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα (2:57)
- 5.12. Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας σε μονοφασικό δίκτυο (2:14)

- Ερωτήσεις κατανόησης Επαγωγικών Μηχανών (6:33)

## ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Ο στάτης του 3φασικού σύγχρονου κινητήρα δημιουργεί περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο (ΠΜΠ).

Για την αρχή λειτουργίας του δείτε το Παράρτημα στο τέλος και τα video στα ανοικτά ακαδ. μαθήματα του ΠΚ, στο φάκελο Lab Synchronous motors

- 6.2. Αρχή λειτουργίας σύγχρονου κινητήρα 3D animation (4:12)

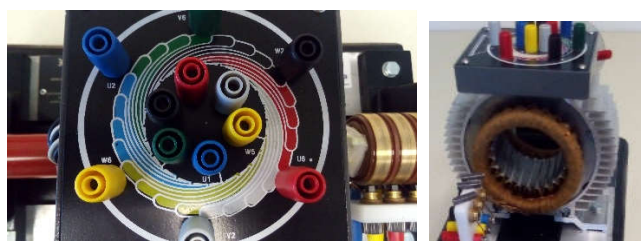
Εξοπλισμός εργαστηρίου.

*Στάτης σύγχρονου κινητήρα*

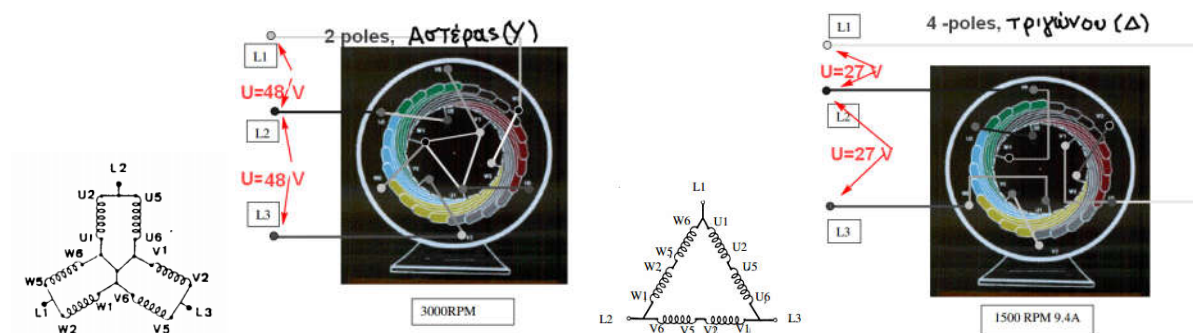
Ο στάτης του τριφασικού σύγχρονου είναι ίδιος με του ασύγχρονου (ή αλλιώς επαγωγικού). Αυτός συναρμολογείται είτε σε συνδεσμολογία τριγώνου είτε αστέρα.

Ο στάτης της εκπαιδευτικής διάταξης διαθέτει συνολικά έξι όμοια πηνία (στη σήμανση δείχνονται με διαφορετικά χρώματα, με τα γράμματα “U”, “V”, “W” και τους αριθμοδείκτες 1, 2, 5, 6, δείτε Σχήμα Γ.1. Οι μονοί αριθμοί δηλώνουν την αρχή της κάθε περιέλιξης ως προς συγκεκριμένη φορά περιέλιξης και οι ζυγοί την άλλη άκρη. Τα έξι πηνία είναι τα: U1-U2, U5-U6, V1-V2, V5-V6, W1-W2, W5-W6.

Τα έξι πηνία του στάτη είναι τοποθετημένα σε κυλινδρική διάταξη στα αυλάκια του πυρήνα του στάτη, σε φυσική γωνία  $60^\circ$  το κάθε ένα με το επόμενο του. Οι εσωτερικές συνδεσμολογίες των πηνίων γίνονται μέσω δώδεκα ακροδεκτών που βρίσκονται στην επιφάνεια της μηχανής. Η αρχή του κάθε πηνίου βρίσκεται στην εξωτερική περιφέρεια, το τέλος του στην εσωτερική περιφέρεια κύκλου. Π.χ., για να συνδεθούν σε σειρά δύο πηνία με φυσική γωνία  $120^\circ$ , συνδέετε έναν ακροδέκτη της εξωτερικής περιφέρειας (π.χ. τον κίτρινο W6) με τον μεθεπόμενο ακροδέκτη της εσωτερικής περιφέρειας δεξιά ή αριστερά του, (π.χ. τον μπλε U1).



Σχήμα Γ.1 Η εκπαιδευτική μηχανή του εργαστηρίου δίνει τη δυνατότητα εύκολης συναρμολόγησης του στάτη.

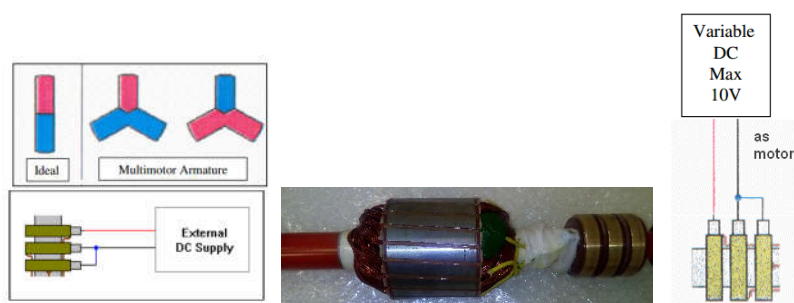


Σχήμα Γ.2. Στην περίπτωση 3-φασικού κινητήρα, για τη δημιουργία περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου (ΠΜΠ), ο στάτης συναρμολογείται στο κάθε ένα από τα τρία τύλιγματα με δύο πηνία. Στη συνδεσμολογία κατά αστέρα τροφοδοτείται με πολική τάση μέχρι 48 V και σε τριγώνου μέχρι 27 V. Στην κάθε περίπτωση, η ταχύτητα του ΠΜΠ εξαρτάται από το πλήθος ζευγών των μαγνητικών πόλων

$$\text{του στάτη: } n_s = 60f/p$$

### Δρομέας 3φασικού σύγχρονου κινητήρα

Ο δρομέας του σύγχρονου κινητήρα δημιουργεί ένα μόνιμο μαγνητικό πεδίο. Συνήθως κατασκευάζεται με ένα ηλεκτρομαγνήτη (πηνίο που διαρρέεται με DC ρεύμα). Για δρομέα στην εκπαιδευτική διάταξη του εργαστηρίου θα χρησιμοποιήσετε τον δακτυλιοφόρο δρομέα του επαγωγικού κινητήρα κάνοντας μια τροποποίηση στην συνδεσμολογία των τυλιγμάτων του. Αυτός διαθέτει τρία τυλίγματα σε συνδεσμολογία Υ. Χρειάζεται να βραχυκυκλώσετε τους δύο από τους τρεις δακτυλίους. Το αποτέλεσμα θα δώσει ένα τύλιγμα.



Σχήμα Γ.3. Στο δακτυλιοφόρο δρομέα, όταν βραχυκυκλωθούν τα δύο από τα τρία τυλίγματά του. Το τύλιγμα που προκύπτει μπορεί να τροφοδοτηθεί με μέγιστη DC τάση 10 V για να δημιουργήσει ένα μαγνητικό πεδίο δύο πόλων.

Για να εκκινήσετε την εκπαιδευτική διάταξη ως σύγχρονο κινητήρα, πρώτα να δώσετε την 3-φασική τροφοδοσία στο στάτη και στη συνέχεια την DC τροφοδοσία (μέχρι 10 V) στο δρομέα.

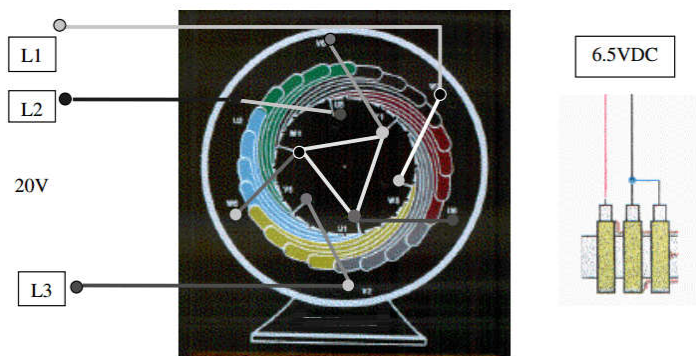
## ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ (Alternator)

Για την αρχή λειτουργίας δείτε το video στο φάκελο Lab Synchronous motors

- 6.3. Αρχή λειτουργίας σύγχρονης γεννήτριας 3 D animation (5:19)

### Εξοπλισμός εργαστηρίου.

Για τη λειτουργία της σύγχρονης μηχανής ως γεννήτρια, ο δρομέας τίθεται σε περιστροφή με τη βοήθεια του DC κινητήρα. Η συχνότητα της παραγόμενης τριφασικής τάσης της γεννήτριας, εξαρτάται από την ταχύτητα του άξονα της και από τα ζεύγη των μαγνητικών πόλων του στάτη της,  $n_s = 60f/p$ .



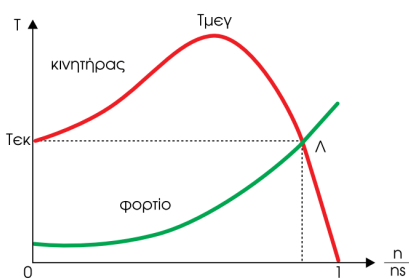
Σχήμα Γ.4. Κατά τη λειτουργία της εκπαιδευτικής AC μηχανής του εργαστηρίου σαν σύγχρονη γεννήτρια, αν ο δρομέας τροφοδοτηθεί με DC τάση 6.5 V και τεθεί σε περιστροφή σε 2000 rpm, θα δώσει στην έξοδό της πολική τάση 20 V. Η συνδεσμολογία τυλιγμάτων του στάτη δημιουργεί ένα ζεύγος πόλων, οπότε η συχνότητα της παραγόμενης τάσης είναι ίδια με αυτή του άξονα.

## ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΔΑΚΤΥΛΙΟΦΟΡΟΥ ΔΡΟΜΕΑ

Ο δακτυλιοφόρος δρομέας αποτελείται από τρία τυλίγματα, συνήθως σε συνδεσμολογία Υ και οι ακροδέκτες τους συνδέονται μέσω δακτυλίων με ωμικό τριφασικό ροοστάτη. Όταν χρησιμοποιείται σε τριφασικό επαγωγικό κινητήρα, πρέπει το πλήθος ζευγών πόλων του δρομέα να ισούται με αυτόν του στάτη. Η δυνατότητα να συνδεθεί με εξωτερικό κύκλωμα μεταβλητής ωμικής αντίστασης πετυχαίνει μεταβολή της ωμικής αντίστασης του δρομέα και κατ' επέκταση αλλαγή του **σημείου λειτουργίας του κινητήρα**, πετυχαίνοντας ρύθμιση:

- της ταχύτητας και
- της αποδιδόμενης ροπής στον άξονα.

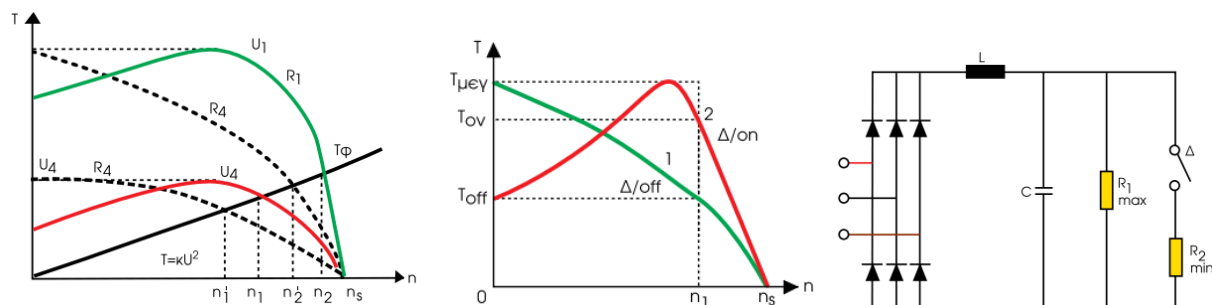
Η αύξηση της αντίστασης του δρομέα, μειώνει το ρεύμα του δρομέα και επιτρέπει να αναπτύσσεται στον άξονα του κινητήρα μέχρι και η μέγιστη ροπή που μπορεί να παράγει ο κινητήρας (Break torque).



Το **σημείο λειτουργίας** ενός κινητήρα υπό φορτίο, είναι το σημείο τομής της καμπύλης ροπής – ταχύτητας του κινητήρα χωρίς φορτίο (εν κενώ) και της καμπύλης του φορτίου. Στο διπλά σχήμα, η καμπύλη φορτίου μεταβάλλεται με μη γραμμικό τρόπο καθώς αυξάνει η ταχύτητα του κινητήρα (περίπτωση φορτίου ανεμιστήρα).

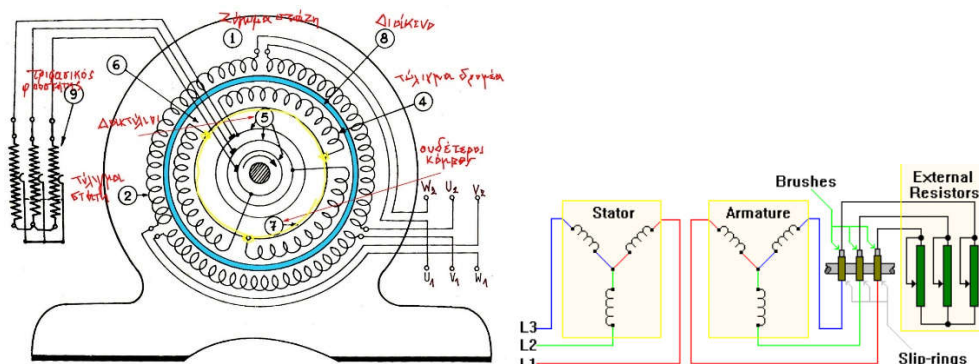
Σχήμα Γ.5. Ορισμός σημείου λειτουργίας κινητήρα. Είναι το σημείο Λ, τομή της καμπύλης φορτίου με την καμπύλη κινητήρα χωρίς φορτίο.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Από free ebook, «Ηλεκτρικές Μηχανές», Γαντζούδης, Λαγουδάκος, Μπινιάρης, ISBN 960-06-0948-9.



Σχήμα Γ.6. Στο αριστερό διάγραμμα: η παχιά μαύρη καμπύλη  $T_\phi$  είναι του φορτίου που εφαρμόζεται στον άξονα του κινητήρα, η πράσινη είναι η καμπύλη φορτίου που αποδίδει ο κινητήρας στον άξονά του εν κενώ υπό τάση τροφοδοσίας  $U_1$ , όταν δεν υπάρχει εξωτερική ωμική αντίσταση. Η κόκκινη είναι η αντίστοιχη όταν τροφοδοτείται με μειωμένη τάση  $U_4$ . Όταν η αντίσταση στο δρομέα γίνει  $R_4=4R_1$ , η ροπή κατά την εκκίνηση είναι η μέγιστη ροπή που αποδίδει ο κινητήρας, ενώ η νέα ταχύτητα μόνιμης λειτουργίας μειώνεται σε  $n_1'$  και  $n_2'$  για τις τάσεις  $U_1$  και  $U_4$  αντίστοιχα. Στο μεσαίο διάγραμμα: η πράσινη γραμμή δείχνει πως μεταβάλλεται η ροπή όταν υπάρχει ηλεκτρονικό κύκλωμα (δεξιό διάγραμμα) ανόρθωσης της επαγόμενης τάσης στο δρομέα, ενώ συγχρόνως ανοιγοκλείνει ένα διακόπτης εισάγοντας εναλλάξ, μια μεγάλη με μια μικρότερη ωμική αντίσταση στο δρομέα. Η ροπή που αποδίδεται σε κάθε στιγμή εξαρτάται από το χρόνο που μένει ανοικτός ο διακόπτης.

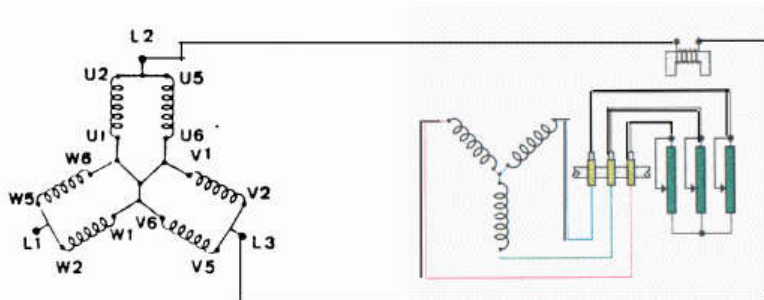
Στο σχήμα Γ.7, δείχνεται το διάγραμμα εσωτερικής συνδεσμολογίας ασύγχρονου επαγωγικού κινητήρα, δακτυλιοφόρου δρομέα. Για τον δακτυλιοφόρο δρομέα μπορείτε να δείτε και στο video 5.9.



Σχήμα Γ.7. Διάγραμμα εσωτερικής συνδεσμολογίας τριφασικού επαγωγικού κινητήρα, δακτυλιοφόρου δρομέα. Ο αριθμοδείκτης 7 αφορά στον ουδέτερο κόμβο της συνδεσμολογίας Υ στο δρομέα.

### Εξοπλισμός εργαστηρίου.

Στο σχήμα Γ7, η σύνδεση του τριφασικού ροοστάτη με τους δακτυλίους του δρομέα γίνεται μέσω ενός ειδικού διακόπτη. Αυτός επιτρέπει την αυτόματη απεμπλοκή του ροοστάτη από το δρομέα σε περίπτωση μικρού φορτίου.



Σχήμα Γ.7. Συνδεσμολογία στάτη σε Y. Ο δρομέας βραχυκυκλώνεται με εξωτερικό τριφασικό ροοστάτη που αποσυνδέεται μέσω ειδικού διακόπτη.

## ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Για την αρχή λειτουργίας του δείτε στο φάκελο LAB Induction motors, το video 5.4. Αρχή λειτουργίας μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα 3D animation (4:06).

Ο στάτης που τροφοδοτείται με μια φάση. Τοποθετώντας κατάλληλα το κύριο τυλίγμα στο χώρο του στάτη (ανά δύο αγωγοί απέναντι) δημιουργούνται δύο ίσου μέτρου, αντίθετης φοράς μαγνητικά πεδία, με συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο που πάλλεται σε μια σταθερή διεύθυνση (αλλά που δεν περιστρέφεται). Για την εκκίνηση του δρομέα χρησιμοποιείται ένα βοηθητικό τυλίγμα για να δημιουργηθεί περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ή να «χαλάσει» την συμμετρία του παλλόμενου μαγνητικού πεδίου και να τεθεί σε κίνηση ο δρομέας.

Οι μονοφασικοί κινητήρες διακρίνονται σε **επαγωγικούς (ή αλλιώς ασύγχρονους) μονοφασικούς** και μια άλλη ειδική κατηγορία τους **μονοφασικούς (σύγχρονους) με συλλέκτη** (είναι DC κινητήρες που λειτουργούν με AC τάση).

**Οι επαγωγικοί μονοφασικοί**, ανάλογα με τον τρόπο εκκίνησης, ταξινομούνται σε:

- Ασύγχρονους μονοφασικούς κινητήρες με αντίσταση.
- Ασύγχρονους μονοφασικούς κινητήρες με πυκνωτή.
- Ασύγχρονους μονοφασικούς κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στάτη.

**Οι μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη** κατασκευαστικά (και οι εσωτερικές συνδεσμολογίες), είναι όπως οι DC σε σειρά κινητήρες σε σειρά, αλλά τροφοδοτούνται με AC ρεύμα. Διακρίνονται σε:

- **Μονοφασικοί κινητήρες σειράς**, είναι μεγάλης ισχύος για αυτό λειτουργούν σε χαμηλές στροφές, π.χ. στην Ευρώπη στα  $16\frac{2}{3}$  Hz, στην Αμερική στα 25 Hz. Διαθέτουν βοηθητικό τυλίγμα αντιστάθμισης και ενδιάμεσους πόλους (δείτε video LAB A).
- **Μονοφασικοί κινητήρες Universal**. Κατασκευάζονται με δρομέα μαγνητικών πόλων που προεξέχουν (έκτυπους πόλους), χωρίς βοηθητικά τυλίγματα (αντιστάθμισης και βοηθητικών πόλων) μέχρι 500 W, βρίσκουν εφαρμογές σε οικιακές συσκευές, όπως τρυπάνι, μίξερ κλπ.
- **Μονοφασικοί κινητήρες αντίδρασης**. Κατασκευάζονται μέχρι από  $\frac{1}{2}$  Hp έως 15 Hp, (1 Hp=736 W). Ο στάτης τους είναι όπως του μονοφασικού ασύγχρονου (με τρία τυλίγματα), ενώ ο δρομέας όπως του DC κινητήρα.

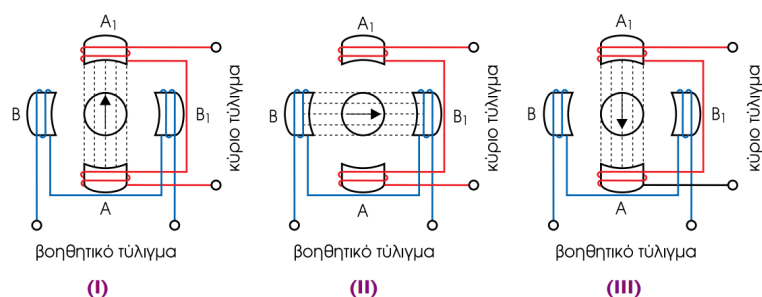


## Μονοφασικός επαγωγικός (ασύγχρονος) κινητήρας

Χαρακτηριστικό τους είναι, ότι αν τεθούν σε λειτουργία μέσω ενός περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, θα συνεχίσουν να λειτουργούν, ακόμα και αν τροφοδοτούνται με μονοφασικό ρεύμα, παρόλο που δεν δημιουργεί περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

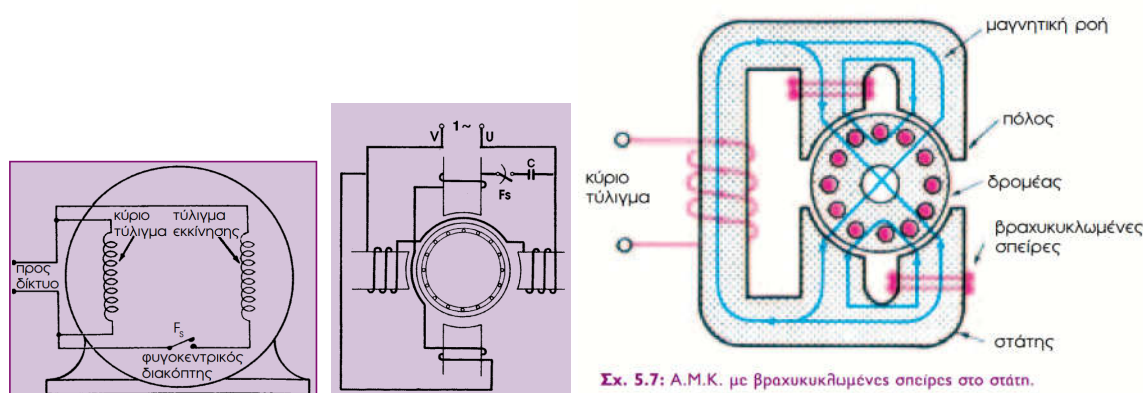
Αν σε τριφασικό επαγωγικό κινητήρα σε λειτουργία διακοπεί η μια από τις τρεις φάσεις, ο κινητήρας συνεχίζει να περιστρέφεται, με μικρότερη ισχύ. Αν ο ίδιος κινητήρας προσπαθήσει να εκκινήσει με τις δύο φάσεις του σαν μια, δεν θα μπορέσει. Αυτό γιατί δύο φάσεις δημιουργούν μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο που δεν είναι περιστρεφόμενο.

**Εκκίνηση μονοφασικού κινητήρα.** Ένας τρόπος για να εκκινήσει ο μονοφασικός κινητήρας, είναι να τοποθετηθεί στο στάτη βοηθητικό τύλιγμα σε απόσταση μισού πολικού βήματος από το κύριο, που θα διαρρέεται με ρεύμα διαφοράς φάσης  $90^\circ$  από το κύριο τύλιγμα του στάτη. Τα δύο τυλίγματα δημιουργούν περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, δείτε παρακάτω σχήμα. Όταν το ρεύμα στο κόκκινο τύλιγμα είναι μέγιστο, το ρεύμα στο μπλε είναι μηδέν, μετά από  $\frac{1}{4}$  της περιόδου, το ρεύμα στο μπλε έχει γίνει μέγιστο ενώ το ρεύμα στο κόκκινο έχει μηδενιστεί. Κάθε  $\frac{1}{4}$  της περιόδου γίνεται διαδοχική αλλαγή της θέσης του μαγνητικού πεδίου κατά  $90^\circ$



Σχ.5.3: Δημιουργία στρεφόμενου Μ.Π. από δύο τυλίγματα (Αρχή λειτουργίας Α.Μ.Κ.).

Σχήμα Γ.8. Από free ebook, «Ηλεκτρικές Μηχανές», Γαντζούδης, Λαγουδάκος, Μπινιάρης, ISBN 960-06-0948-9.



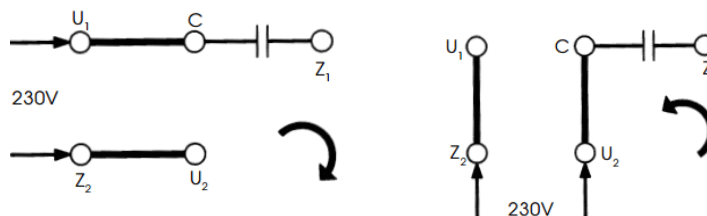
Σχ. 5.7: Α.Μ.Κ. με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη.

Σχήμα Γ.9α. Από αριστερά προς τα δεξιά: Ασύγχρονος μονοφασικός κινητήρας α) με αντίσταση, β) με πυκνωτή και γ) με βραχυκυκλωμένες σπείρες στάτη.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Από free ebook, «Ηλεκτρικές Μηχανές», Γαντζούδης, Λαγουδάκος, Μπινιάρης, ISBN 960-06-0948-9.

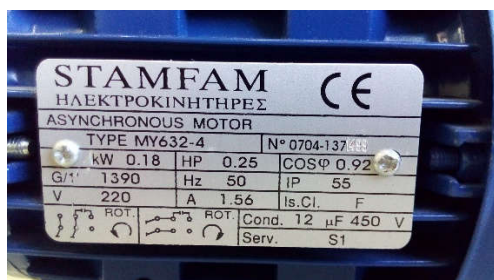
## Εξοπλισμός εργαστηρίου.

Στο σχήμα Γ.9β δείχνεται ο κινητήρας του εργαστηρίου, αναφέρεται ως ο «μπλε» μονοφασικός κινητήρας του εργαστηρίου και είναι βιομηχανικού τύπου. Ο πυκνωτής του είναι ηλεκτρολυτικός 12  $\mu\text{F}$ , 450 V και βρίσκεται μέσα στο κιβώτιο συνδέσεων, εξωτερικά. Στη σήμανσή του δείχνεται και η συνδεσμολογία πώς να αλλάζει η φορά περιστροφής. Τα σύμβολα των ακροδεκτών είναι κατά το γερμανικό πρότυπο σήμανσης, δείτε παρακάτω Πίνακα.



	Γερμανικοί VDE.	Αγγλικοί B.S.	Αμερικανοί A.S.S.
Κύριο τύλιγμα:	U-V	$U_1-U_2$	$T_1-T_2$
Βοηθητικό τύλιγμα:	W-Z	$Z_1-Z_2$	$T_2-T_4$

Σχήμα Γ.9β. Ο βιομηχανικός μονοφασικός ασύγχρονος κινητήρας με πυκνωτή του εργαστηρίου.



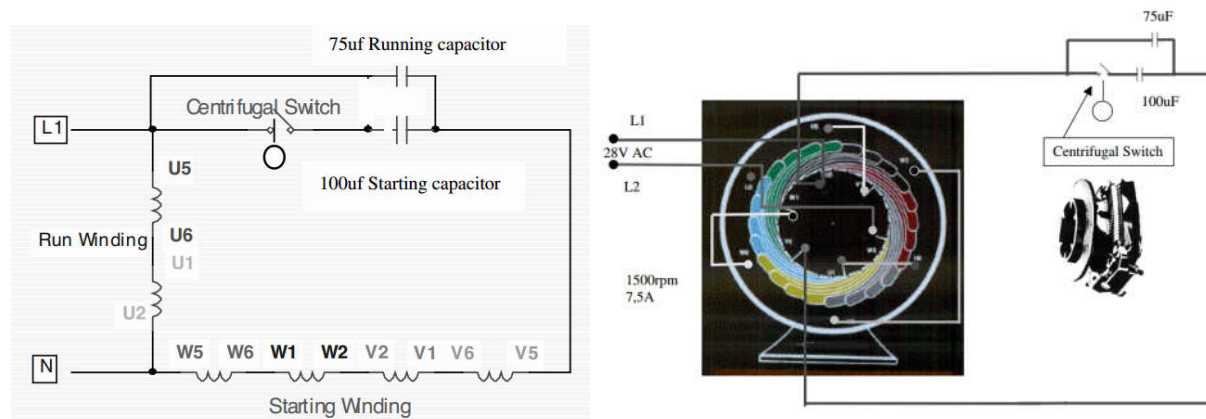
Σχήμα Γ.10. Πινάκίδα του μονοφασικού ασύγχρονου κινητήρα του εργαστηρίου.

Ο μπλε κινητήρας έχει ένδειξη Is. Cl. F. Στον πίνακα που ακολουθεί δείχνονται οι διαφορετικές κλάσεις θερμικής μόνωσης του κινητήρα (προαιρετικά δείτε video 5.15 και 5.7 στο φάκελο LAB Induction motors).



Temperature Tolerance Class	Maximum Operation Temperature Allowed		Allowable Temperature Rise at full load 1.0 service factor motor <sup>1)</sup>	Allowable Temperature Rise 1.15 service factor motor <sup>1)</sup>
	°C	°F	°C	°C
A	105	221	60	70
B	130	266	80	90
F	155	311	105	115
H	180	356	125	-

Για τον εκπαιδευτικό ασύγχρονο μονοφασικό κινητήρα, απαιτείται η συνδεσμολογία που δείχνεται στο Σχήμα Γ.11.



Σχήμα Γ.11. Συνδεσμολογία μονοφασικού εκπαιδευτικού κινητήρα. Τα διαθέσιμα πηνία του στάτη συναρμολογούνται για την δημιουργία ενός κύριου και ενός βοηθητικού τυλίγματος κάθετων μεταξύ τους. Τροφοδοτείται με 28 V AC.

## Μονοφασικός κινητήρας με συλλέκτη (Universal motor)

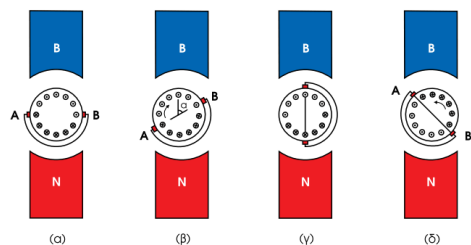
Στο φάκελο Lab Synchronous motors δείτε το video

- 6.6 Αρχή λειτουργίας universal κινητήρα (6:02)

Στο φάκελο Lab DC motors δείτε το video

- 4.2. Αρχή λειτουργίας DC μηχανών -3D animation (4:44)

Κατασκευαστικά είναι ένας DC κινητήρας σε σειρά που τροφοδοτείται με AC μονοφασικό ρεύμα. Έχουν το πλεονέκτημα, έναντι των μονοφασικών ασύγχρονων, ότι μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια η ταχύτητά τους. Η φορά περιστροφής τους μπορεί να αλλάξει μόνο αν μετακινηθεί η θέση των ψηκτρών του, δεξιά ή αριστερά ως προς τον άξονα του ουδέτερου μαγνητικού πεδίου, κατά λίγες μοίρες (π.χ.  $15^\circ$ ).



Σχήμα Γ.12. Η αλλαγή περιστροφής πετυχαίνεται με μετακίνηση των ψηκτρών ως προς τον μαγνητικό άξονα, στις θέσεις (β) ή (δ). Στη θέση (γ) έχουμε μέγιστο ρεύμα, αλλά όχι ροπή στρέψης.<sup>3</sup>

Υπάρχουν προβλήματα, όπως υπερθέρμανσης του πυρήνα λόγω αυξημένων φαινομένων δινορευμάτων και υστέρησης, περισσότερος θόρυβος, σπινθήρες λόγω των βραχυκυκλωμένων τυλιγμάτων του δρομέα (λόγω που στα τυλίγματα του δρομέα σε αυτά δημιουργείται ΗΕΔ εξ' επαγωγής).

Για τη λειτουργία των DC κινητήρων δείτε το Παράρτημα και τα σχετικά video του Lab DC motors.

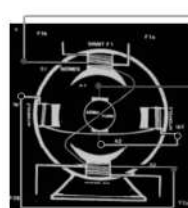


**WARNING!**  
All series motors, AC or DC have a tendency to run away when operated without a load.  
Do not operate without load  
Be ready to switch off



### Εξοπλισμός εργαστηρίου.

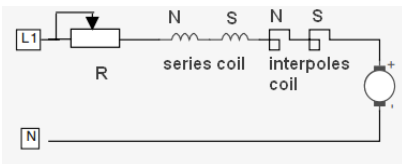
Ο εκπαιδευτικός DC κινητήρας του εργαστηρίου θα συναρμολογηθεί σε διέγερση σειράς, με τροφοδοσία μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα, μέχρι τάση 19 V. Η συνδεσμολογία δείχνεται παρακάτω (Το σχήμα υπάρχει στο πάγκο του εργαστηρίου).



**WARNING!**  
All series motors, AC or DC have a tendency to run away when operated without a load.  
Do not operate without load  
Be ready to switch off



Σχήμα Γ.13. Συνδεσμολογία μονοφασικού κινητήρα με συλλέκτη στο εργαστήριο.



Σχήμα Γ.14. Συνδεσμολογία μονοφασικού κινητήρα με συλλέκτη με δυνατότητα ρύθμισης ταχύτητας κάτω από την ονομαστική. Αυτός ο τύπος κινητήρα αναπτύσσει μεγάλη ροπή εκκίνησης. Όταν λειτουργεί με DC τάση δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20 V. Το βοηθητικό τύλιγμα σειράς του στάτη συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα βοηθητικών πόλων, σε σειρά με μεταβλητή ωμική αντίσταση 30 Ω, 50 W. Η τάση τροφοδοσίας είναι 19 V AC.

<sup>3</sup> Από free ebook, «Ηλεκτρικές Μηχανές», Γαντζούδης, Λαγουδάκος, Μπινιάρης, ISBN 960-06-0948-9.

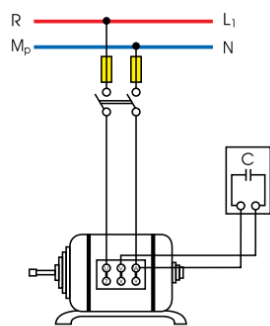
## Τριφασικός κινητήρας σε μονοφασικό δίκτυο

Στο φάκελο Lab Induction motors δείτε το video:

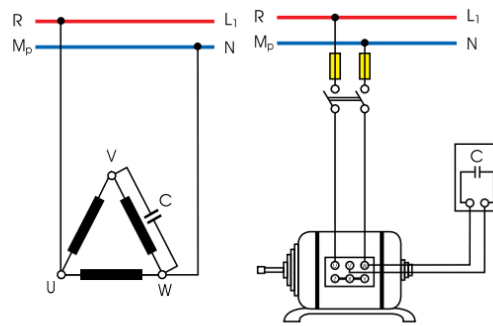
- 5.12. Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας σε μονοφασικό δίκτυο (2:14)

Για την περίπτωση 3-φασικού κινητήρα που λειτουργεί σε μονοφασικό δίκτυο, χρειάζεται τροποποίηση στη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων στο στάτη, δείτε video 5.12. Ο πυκνωτής παραμένει συνδεδεμένος στο κύκλωμα σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα. Η τιμή του πυκνωτή υπολογίζεται από σχετική σχέση ή από πίνακα, όπως ο παρακάτω.

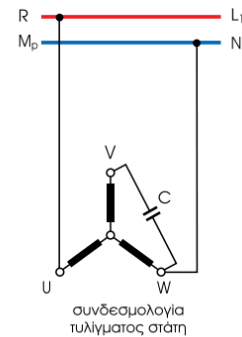
Ισχύς Α.Τ.Κ. (kW):	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Χωρητικότητα πυκνωτή (μF):	14	28	42	56	70	84
• U=220V						
Χωρητικότητα πυκνωτή (μF):	4	8	12	16	20	24
• U=380V						



Σχ. 5.17: Α.Τ.Κ. ζεύξης τριγώνου που χρησιμοποιείται σαν μονοφασικός.



Σχ. 5.16: Α.Τ.Κ. ζεύξης αστέρα, που χρησιμοποιείται σαν μονοφασικός.



Σχήμα Γ.15. Από free ebook, «Ηλεκτρικές Μηχανές», Γαντζούδης, Λαγουδάκος, Μπινιάρης, ISBN 960-06-0948-9.

## Παράρτημα: Βασικές γνώσεις

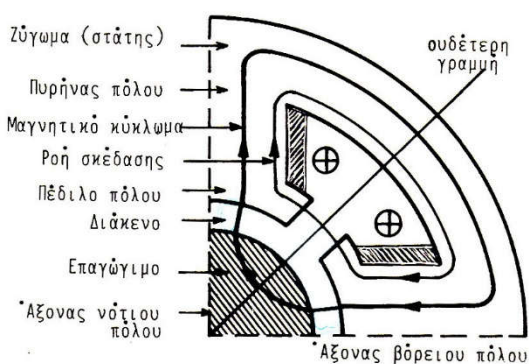
Το πεδίο γνώσης του θέματος είναι πολύ ευρύ. Για να προετοιμαστείτε καλύτερα, δείτε τα σχετικά video στα ακαδημαϊκά ανοικτά μαθήματα του μαθήματος. Παρακάτω ακολουθούν μερικές βασικές εισαγωγικές έννοιες.

### Ορισμοί

**Μαγνητική επαγωγή**,  $B$  (Tesla), είναι η μαγνητική ροή ανά μονάδα επιφάνειας.

**Μαγνητική ροή**,  $\Phi$  (Wb), είναι ο συνολικός αριθμός μαγνητικών γραμμών που περνούν μέσα από μια επιφάνεια. Είναι ο λόγος ανάπτυξης μαγνητικού κυκλώματος. Παίζει ανάλογο ρόλο με το ρεύμα στα ηλεκτρικά κυκλώματα.

Τα στοιχεία που αφορούν το μαγνητικό κύκλωμα στρεφόμενης μηχανής δείχνονται και ονομάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (είναι τομή ¼).



## ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Ο σύγχρονος κινητήρας πήρε το όνομά του από τον όρο "σύγχρονη ταχύτητα", η οποία είναι η φυσική ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη του. Η σύγχρονη ταχύτητα  $n_s$  προσδιορίζεται από το πλήθος των πόλων  $p$  (ή τον αριθμό ζευγών των πόλων) και τη συχνότητα  $f$  της εφαρμοζόμενης τάσης Ε.Ρ. του δικτύου,

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{60f}{\text{ζεύγη πόλων}}$$

Οι διπολικές σύγχρονες γεννήτριες έχουν στο στάτη δύο πόλους, (ένα ζευγάρι πόλων). Για να παράγεται ηλεκτρική ισχύς συχνότητα 50 Hz ή 60 Hz θα πρέπει ο άξονάς της να περιστρέφεται στις 3000 ή 3600 RPM αντίστοιχα. Αυτές κινούνται με ατμό (ατμοστροβιλογεννήτρια). Οι σύγχρονες γεννήτριες με πολλούς πόλους στο στάτη, πολλά ζευγάρια πόλων) για το ίδιο με το παραπάνω αποτέλεσμα περιστρέφονται σε χαμηλότερες ταχύτητας. Πχ αν έχουν 48 πόλους στο στάτη περιστρέφονται με 125 RPM για να παράγουν συχνότητα 50 Hz. Αυτές κινούνται με υδροστροβίλο (υδροστροβιλογεννήτρια).

Στις μονοφασικές σύγχρονες μηχανές υπάρχει ένα τύλιγμα στο στάτη. Στις διπολικές διφασικές μηχανές υπάρχουν δύο τυλίγματα στο στάτη που βρίσκονται σε φυσική γωνία 90 μοιρών, στις πολυφασικές

διφασικές υπάρχουν δύο τυλίγματα με μετατόπιση 90 ηλεκτρικών μοιρών. Οι ηλεκτρικές μοίρες ορίζονται ως το γινόμενο των ζευγών πόλων με τις φυσικές μοίρες,

$$\text{ηλεκτρικές μοίρες} = p/2 \text{ φυσικές μοίρες}$$

Στην τριφασική μηχανή, τα τρία τυλίγματα του στάτη βρίσκονται τοποθετημένα σε συνδεσμολογία τριγώνου ή αστέρα με μετατόπιση 120 ηλεκτρικών μοιρών.

Ο σύγχρονος κινητήρας βασίζεται για τη λειτουργία του στο στρεφόμενο μαγνητικό του πεδίο. Αντίθετα όμως από τον επαγωγικό κινητήρα, η ροπή που αναπτύσσεται από το σύγχρονο κινητήρα δεν εξαρτάται από τα ρεύματα που επάγονται στο δρομέα.

**Σε συντομία η αρχή λειτουργίας του σύγχρονου κινητήρα είναι η εξής:** Μια πολυφασική πηγή Ε.Ρ. εφαρμόζεται στα τυλίγματα του στάτη και έτσι παράγεται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Ένα συνεχές ρεύμα εφαρμόζεται στο τύλιγμα του δρομέα και έτσι παράγεται το σταθερό μαγνητικό πεδίο του δρομέα. Ο κινητήρας είναι κατασκευασμένος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε τα δύο αυτά μαγνητικά πεδία να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να προκαλούν την περιστροφή του δρομέα με ταχύτητα ίση με εκείνη του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη. Αν εφαρμοστεί φορτίο στον άξονα του δρομέα, τότε στιγμιαία η γωνία του θα αυξηθεί αρνητικά (ως προς τη φορά περιστροφής), δηλ. ο δρομέας θα έπεται του στρεφόμενου πεδίου αλλά θα συνεχίσει να περιστρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα.

Αυτή η σχετική αρνητική αύξηση της γωνίας του δρομέα μπορεί να αποδοθεί με την εξής αναλογία. Αν ο δρομέας ήταν δεμένος με ένα λαστιχάκι στο στρεφόμενο πεδίο, τότε τα μεγαλύτερα φορτία θα τέντωναν το λαστιχάκι, πράγμα που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη αρνητική αύξηση της γωνίας του δρομέα ως προς το στρεφόμενο πεδίο του στάτη αλλά ο δρομέας θα συνέχιζε να περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα. Αν το φορτίο γίνει πολύ μεγάλο, ο δρομέας θα χάσει το συγχρονισμό του με το στρεφόμενο πεδίο, με αποτέλεσμα να αποσυγχρονισθεί και να σταματήσει. Σε αυτή την περίπτωση λέγεται ότι ο κινητήρας είναι υπερφορτισμένος.

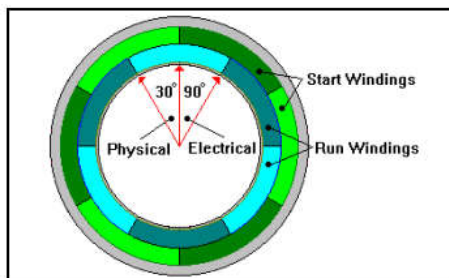
Ο σύγχρονος κινητήρας δεν είναι αυτοκινούμενος, επειδή ο δρομέας του είναι αρκετά βαρύς και δεν είναι δυνατό να έρθει από ακινησία σε μαγνητικό κλείδωμα με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Γι' αυτό το λόγο όλοι οι σύγχρονοι κινητήρες έχουν κάποιο είδος συσκευής εκκίνησης. Ένας απλός εκκινητής είναι ένας άλλος κινητήρας, ο οποίος ανεβάζει την ταχύτητα του δρομέα στα 90% της σύγχρονης ταχύτητάς του. Έπειτα ο κινητήρας εκκίνησης αποσυνδέεται και ο δρομέας έλκεται σε βηματισμό με το στρεφόμενο πεδίο. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος εκκίνησης ενός σύγχρονου κινητήρα γίνεται με την τοποθέτηση ενός τυλίγματος κλωβού (απόσβεσης) στο δρομέα του.

Αυτό το τύλιγμα κλωβού ανεβάζει την ταχύτητα του δρομέα σχεδόν σε σύγχρονη ταχύτητα, όπως ένας επαγωγικός κινητήρας. Το τύλιγμα κλωβού είναι επίσης χρήσιμο στον κινητήρα ακόμα και όταν αναπτύξει σύγχρονη ταχύτητα, επειδή τείνει να προκαλεί απόσβεση των ταλαντώσεων του δρομέα του, οι οποίες δημιουργούνται από τις απότομες μεταβολές του φορτίου του. Η συσκευή σύγχρονου κινητήρα/γεννήτριας αυτής της άσκησης περιέχει ένα τύλιγμα κλωβού στο δρομέα.

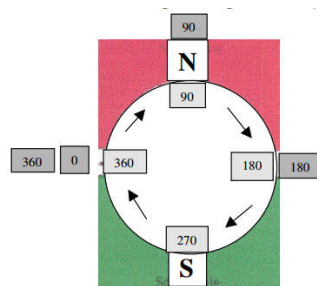


Στο παρακάτω σχήμα του κατασκευαστή περιγράφεται η θέση των βοηθητικών τυλιγμάτων (για την εκκίνηση) σε σχέση με τα κύρια του δρομέα.

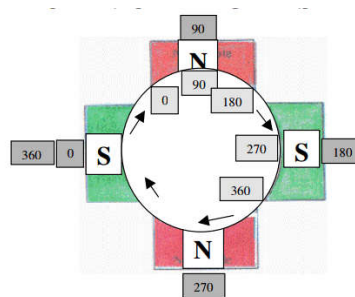
The start and run windings are placed 90 electrical degrees apart from each other to ensure that the armature will rotate automatically. As can be seen in the diagram the coils in this particular motor are physically displaced by 30 degrees, but there are actually 90 electrical degrees from the centre of the starting to the centre of the running coil.



## Μηχανικές – Ηλεκτρικές μοίρες.



A two pole winding showing how electrical degrees compare with mechanical degrees



A four pole winding showing how 360 electrical degrees compare with 360 mechanical degrees

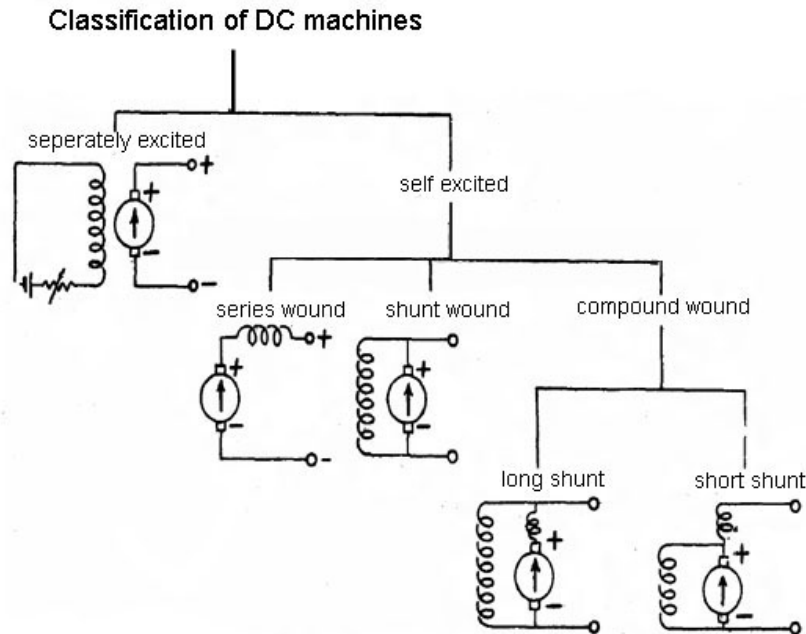
## ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Οι κινητήρες Σ.Ρ. είναι αναντικατάστατοι σε εφαρμογές ρύθμισης (ελέγχου) ταχύτητας και σε εφαρμογές με αυστηρές απαιτήσεις ροπής. Εκατομμύρια κινητήρες Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα, τρένα και αεροπλάνα, όπου κινούν ανεμιστήρες και φυσητήρες για κλιματισμό κλπ. Επίσης, θέτουν σε λειτουργία υαλοκαθαριστήρες και ανυψώνουν ή κατεβάζουν καθίσματα και παράθυρα. Μια από τις πιο χρήσιμες λειτουργίες τους είναι η εκκίνηση των μηχανών εσωτερικής καύσης (αυτοκινήτων, φορτηγών, λεωφορείων, τρακτέρ και πλοιαρίων).

Ο κινητήρας Σ.Ρ. αποτελείται από το στάτη και το δρομέα, που καλείται συνήθως τύμπανο (armature). Ο στάτης περιέχει ένα ή περισσότερα τυλίγματα ανά πόλο, τα οποία, όταν διαρρέονται από συνεχές ρεύμα, δημιουργούν το Κύριο μαγνητικό πεδίο του κινητήρα.

Το τύμπανο και τα τυλίγματά του βρίσκονται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, και όταν τα τυλίγματά του διαρρέονται από ρεύματα, αναπτύσσεται ροπή, η οποία προκαλεί την περιστροφή του άξονα του κινητήρα.

Ο συλλέκτης (commutator), που έχει σχέση με το τύλιγμα του τυμπάνου, είναι βασικά ένα μηχανικό σύστημα, το οποίο εξασφαλίζει τη σταθερή κυκλοφορία του ρεύματος τυμπάνου κάτω από οποιοδήποτε πόλο του στάτη στην ίδια κατεύθυνση ανεξάρτητα από τη θέση του. Χωρίς τη χρησιμοποίηση του συλλέκτη ο δρομέας δεν θα μπορούσε να κάνει ούτε μια ολόκληρη περιστροφή.



### Παράδειγμα

Εξαπολικός εναλλακτήρας ( $p=3$ ) περιστρέφεται με ταχύτητα  $n_s=1.000$ στρ/min. Τι συχνότητας Η.Ε.Δ. και ρεύματος μπορεί να μας δώσει;

### Λύση

Είναι:  $f = \frac{p \cdot n_s}{60}$ . Άρα:  $f = \frac{3 \cdot 1.000}{60} = \frac{3.000}{60} = 50\text{Hz}$ .

Η **ταχύτητα**  $n_s$  που πρέπει να έχει ένας εναλλακτήρας, για να παράγει Η.Ε.Δ. και ρεύμα σταθερής συχνότητας (π.χ. 50Hz, που ισχύει στην Ελλάδα και σ' όλη την Ευρώπη στα δίκτυα Ε.Ρ.), λέγεται **σύγχρονη ταχύτητα** και δίνεται απ' τη σχέση:

$$n_s = \frac{f}{p} \quad (\text{σε στρ/sec}) \quad \text{ή} \quad n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (\text{σε στρ/min})$$

**Παράδειγμα**

Πόσους πόλους πρέπει να έχει εναλλακτήρας που περιστρέφεται με ταχύτητα 250στρ/min, για να παράγει ρεύμα συχνότητας 50Hz;

**Λύση**

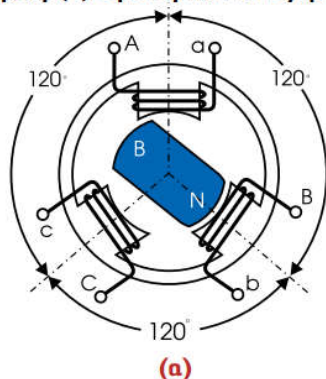
Έχουμε:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}, \text{ με } f=50\text{Hz και } n_s=250\text{στρ/min. Επομένως:}$$

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \Rightarrow p = \frac{60f}{n_s} = \frac{3.000}{250} \Rightarrow p = 12$$

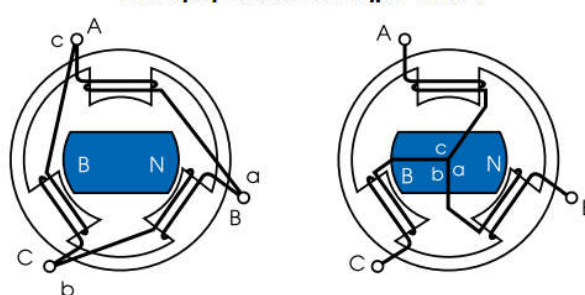
Άρα, ο εναλλακτήρας πρέπει να έχει (2·12) 24 πόλους.

**τρεις (3) όμοιες και ανεξάρτητες Η.Ε.Δ.**



(α)

**ένα τριφασικό σύστημα Η.Ε.Δ.**



(β)

**Σχ. 3.15:** Στοιχειώδης 3~ εναλλακτήρας, με εσωτερικούς πόλους (α) και σύνδεση των τυλιγμάτων του σε Δ και Υ (β).

#### 4.2. Αρχή λειτουργίας DC μηχανών -3D animation(4:44)

Ερωτήσεις κατανόησης

#### Lab Induction motors

- 5.2. Αρχή λειτουργίας 3-φασικής επαγωγικής μηχανής 3D animation (4:34)
  - 5.3. Εκκίνηση τύπου αστέρα-τριγώνου 3D animation (5:42)
  - 5.4. Αρχή λειτουργίας μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα 3D animation (4:06)
  - 5.5. Χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας-ροπής επαγωγικού κινητήρα (3:25)
  - 5.11. Μέθοδος εκκίνησης μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα (2:57)
  - 5.12. Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας σε μονοφασικό δίκτυο (2:14)
- Ερωτήσεις κατανόησης Επαγωγικών Μηχανών (6:33)

- Ερωτήσεις κατανόησης ενότητας 6 (3:07)