



ΤΜΗΜΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΜΟΝΙΜΟΥ  
ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ



ΠΟΛΥΧΡΟΝΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΣΕΝΤΖΑ ΣΟΦΙΑ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2020

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΔΡΙΤΣΑΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονείται στα πλαίσια της πενταετούς υποχρεωτικής φοίτησης στο τμήμα Εκπαιδευτικών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Εκπαιδευτικών Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Εκπαιδευτικού ιδρύματος Α.Σ.ΠΑΙ.ΤΕ, και αποτελεί την τελευταία οφειλή αυτής. Σκοπός της πτυχιακής αυτής, είναι η μελέτη και ο πειραματισμός σε Ασύγχρονους Μονοφασικούς Κινητήρες και η εξέτασή τους με μαθηματικά υποδείγματα.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μία διεξοδική θεωρητική αναφορά στις ηλεκτρικές μηχανές και συγκεκριμένα στην λειτουργία και χρήση τους. Ειδικότερα, γίνεται λεπτομερής ανάλυση στους Α.Μ.Κ. καθώς και μία σύγκριση με τους Ασύγχρονους Τριφασικούς Κινητήρες.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στη δομή του Α.Μ.Κ. παραθέτοντας κατασκευαστικά στοιχεία, ισοδύναμα κυκλώματα και χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας. Συνάμα, επεξηγείται η βασική λειτουργική διαφορά ενός Ασύγχρονου Μονοφασικού Κινητήρα με έναν Ασύγχρονο Τριφασικό Κινητήρα.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η ανάγκη χρήσης ενός πυκνωτή κίνησης και ενός πυκνωτή λειτουργίας. Στη συνέχεια, γίνεται επαλήθευση και υπολογισμός (διαστασιολόγηση) αυτών των μεγεθών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται σύγχρονες μεθοδολογίες ελέγχου στροφών των Α.Μ.Κ. καθώς και οι βασικές Βιομηχανικές εφαρμογές τους.

Κλείνοντας, ανακεφαλαιώνουμε τα σημαντικότερα συμπεράσματα από την έρευνά μας και επισημαίνονται θέματα για μελλοντική εργασία.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας καθώς και οι θεμελιώδεις εξισώσεις αυτών.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις θεμελιώδεις έννοιες των ασύγχρονων ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσόμενου, στο κυκλωματικό ισοδύναμο του Α.Τ.Κ, σύγκριση Α.Τ.Κ-Α.Μ.Κ και στα όρια ισχύος της κατασκευής του .

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνουμε έμφαση στον ασύγχρονο μονοφασικό κινητήρα, αναλύοντας τους διάφορους τρόπους εκκίνησης τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τρόποι ελέγχου της ταχύτητας τους και τρόποι πέδησης.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των θεμελιώδη υπολογισμών όλων των μεγεθών λειτουργίας των ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται σύγχρονες μεθοδολογίες ελέγχου στροφών των Α.Μ.Κ. καθώς και οι βασικές Βιομηχανικές εφαρμογές τους.

Ολοκληρώνουμε την εργασία μας με συμπεράσματα – παρατηρήσεις και παραθέτουμε ιδέες για μελλοντική εργασία.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

**Ηλεκτρικές μηχανές, μονοφασικοί κινητήρες, τυλίγματα, εκκίνηση, πέδηση, έλεγχος στροφών**

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to study asynchronous single-phase electric machines, featuring the fundamental (steady-state) equations used for power computations along with some of their industrial applications.

In the first chapter, we present the basics of asynchronous AC electric machines before offering a comparison between single-phase and three-phase machines. An explanation for the low power range of single-phase motors is also given.

In the second chapter, we delve more deeply into asynchronous single-phase machines, analyzing the issues of starting and braking single-phase machines. Furthermore, the current practice for speed control via frequency converters is presented.

In the third chapter we present the fundamental calculations of all operating sizes of asynchronous single-phase machines, verified via specific computations and simulations.

The fourth chapter is concerned with the availability of commercial speed controllers for asynchronous single-phase motors and the presentation of some important industrial applications.

In the final chapter we provide conclusions and ideas for future work.

## **KEY WORDS**

Electric motors, single-phase motors, windings, starting, speed controllers

## Περιεχόμενα

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>2</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>3</b>
<b>ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	<b>7</b>
<b>ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ</b> .....	<b>7</b>
1.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ-ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ/ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ .....	7
1.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ .....	8
1.2.1 ΤΑΣΗ ΕΞ ΕΠΑΓΩΓΗΣ.....	9
1.2.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ .....	10
1.2.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΑΜΚ. ....	11
1.2.4 ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ (ΑΜΚ)ΚΑΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ (ΑΤΚ) ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ. .....	12
1.2.5 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΤΟΥ ΑΤΚ .....	13
1.2.6 ΓΙΑ ΠΟΙΟΝ ΛΟΓΟ ΟΙ Α.Μ.Κ. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΟΝΤΑΙ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΤΩΝ 3KW .....	14
<b>2. ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΤΟΥ ΑΜΚ</b> .....	<b>15</b>
2.1 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ .....	15
2.1.1 ΤΑ ΔΥΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΑ ΠΕΔΙΑ .....	17
2.1.2 Η ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΕΓΕΡΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ (Μ.Ε.Δ.).....	18
2.2 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ (ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ) ΠΕΔΙΩΝ .....	19
2.3 ΡΟΠΗ-ΙΣΧΥΣ .....	21
2.3.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ .....	23
2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΑΜΚ.....	24
2.4.1 ΧΡΗΣΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΥ ΤΥΛΙΓΜΑΤΟΣ .....	25
2.4.2 ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ.....	26
2.4.3 ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	28
2.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΜΚ ΜΕΣΩ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ .....	29
2.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΔΗΣΗΣ .....	30
<b>3.ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΜΚ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ...</b>	<b>31</b>
3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΡΟΠΗΣ-ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΣ, ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΑΜΚ.....	31
3.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ – ΙΣΧΥΟΣ .....	35

3.3 ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΤΥΛΙΓΜΑ ΚΑΙ ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ .....	37
3.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΥΚΝΩΤΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΥΠΙΚΟ ΑΜΚ ....	39
3.5 ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	41
<b>4.ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΜΚ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ .....</b>	<b>45</b>
4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ .....	45
4.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΜΚ .....	48
4.2.1 ΟΙΚΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ.....	50
4.2.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΡΟΛΑ.....	51
4.2.3 ΑΝΤΛΙΕΣ ΝΕΡΟΥ,ΛΑΔΙΟΥ.....	52
4.2.4 ΥΠΟΒΡΙΧΙΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ .....	54
4.2.5 ΕΞΑΕΡΙΣΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑΣ.....	55
4.2.6 ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΡΟΥΧΩΝ.....	56
4.2.7 ΠΛΥΝΤΗΡΙΑ.....	57
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....</b>	<b>58</b>
5.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....</b>	<b>59</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>63</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ

#### 1.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ-ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ/ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

- Ο άνθρωπος, για την ικανοποίηση των αναγκών του, χρησιμοποιεί ενέργεια σε διάφορες μορφές.
- Η πιο σημαντική είναι η **ηλεκτρική ενέργεια**, που σήμερα χρησιμοποιείται παντού, στα σπίτια στα μαγαζιά, στα εργοστάσια, στα αγροκτήματα για φωτισμό, μαγείρεμα, για διασκέδαση, για κίνηση, για θέρμανση και για πολλές άλλες χρήσεις.
- Η ηλεκτρική ενέργεια (Η.Ε) παράγεται κυρίως σε μεγάλα εργοστάσια, που λέγονται σταθμοί παραγωγής Η.Ε, με ειδικές μηχανές που λέγονται σύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές ή γεννήτριες.

#### ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

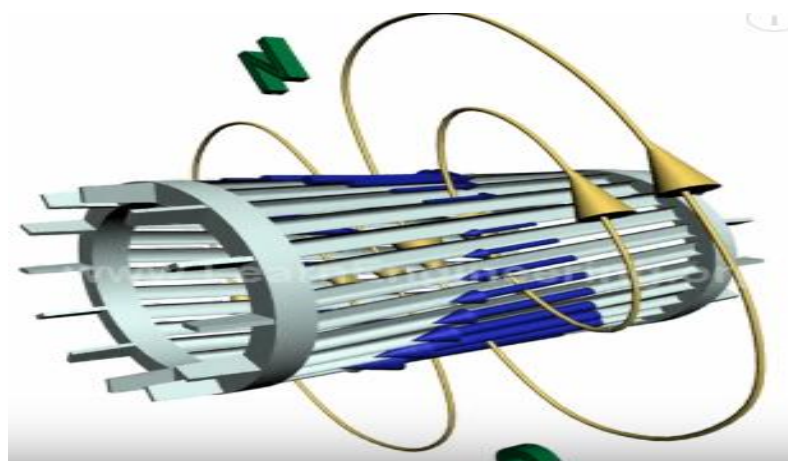
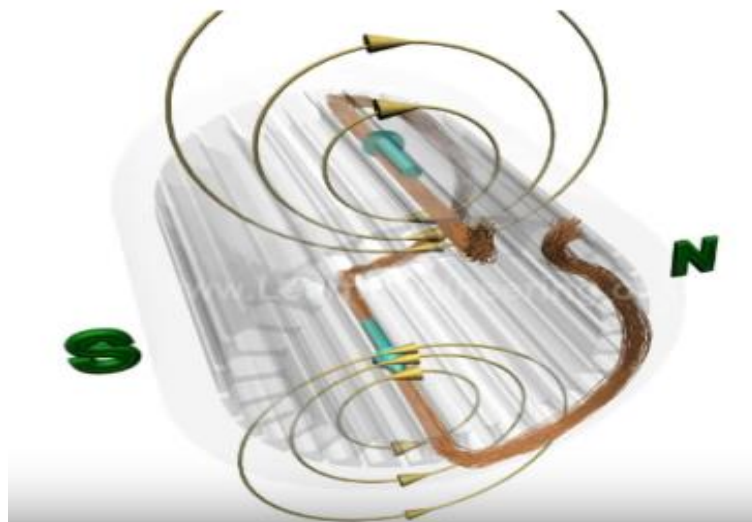
- Είναι ηλεκτρικές μηχανές οι οποίες μετατρέπουν τη **μηχανική ενέργεια** σε **ηλεκτρική**.
- Η λειτουργία των γεννητριών βασίζεται στο φαινόμενο κατά το οποίο εάν ένα **πηνίο** περιστραφεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο τότε εμφανίζεται **τάση** από επαγωγή στα άκρα του.
- Εάν το πηνίο βρίσκεται σε κλειστό κύκλωμα τότε το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα.

#### ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Είναι ηλεκτρικές μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την **ηλεκτρική ενέργεια** σε **μηχανική**.
- Η λειτουργία των κινητήρων βασίζεται στο φαινόμενο κατά το οποίο εάν ένας ρευματοφόρος αγωγός βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο τότε εμφανίζεται δύναμη που ασκείται επάνω στον αγωγό.

## 1.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ

- Στον στάτη υπάρχει ένα 1Φ/3Φ τύλιγμα το οποίο τροφοδοτείται από εναλλασσόμενη τάση.
- Το τύλιγμα αυτό θα δημιουργήσει ένα μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο αυτό για 1Φ κινητήρα αποτελείται από δύο όμοια και αντίθετα περιστρεφόμενα πεδία .
- Παράλληλα, τα τυλίγματα του ρότορα βρίσκονται μέσα στο μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο επομένως διαρρέονται από ρεύμα.
- Η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι μικρότερη με αυτή του πεδίου του στάτη και εξαρτάται από το φορτίο.



Σχ.1α Ωρολογιακή και ανθρωρολογιακή περιστροφή κινητήρα



### 1.2.1 ΤΑΣΗ ΕΞ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

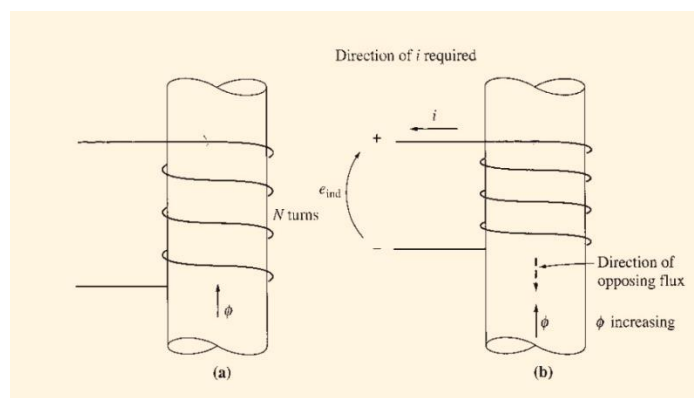
Σύμφωνα με τον Νόμο του **Faraday**, αν μέσα από μια σπείρα ενός πηνίου διέρχεται χρονικά μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή, τότε στα άκρα της επάγεται τάση που είναι ανάλογη προς τον ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής ως προς το χρόνο:

$$e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$$

Εάν έχουμε  $N$  σπείρες:

$$e_{ind} = -N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

Ο όρος  $N\Phi$  ονομάζεται **πεπλεγμένη ροή** (ο γενικός ορισμός της είναι το άθροισμα των ροών που διέρχονται από όλες τις σπείρες:  $\Psi = \sum i\Phi_i$ ). Η αρνητική μορφή του πρόσημου είναι αποτέλεσμα του νόμου των Lenz, ο οποίος υπογραμμίζει ότι, η πολικότητα της  $\mathbf{E}_{ind}$  είναι τέτοια, ώστε το παραγόμενο ρεύμα (αφού συνδέσουμε τα άκρα του αγωγού) να αντιτίθεται στη μεταβολή της ροής (μέσω της ροής που αυτό προκαλεί). Συνεπώς, αν αυξάνεται η ροή, το ρεύμα που επάγεται προκαλεί πεδίο που αντιτίθεται στο υπάρχον. Αντίθετα, αν η ροή μειώνεται, το προκαλούμενο ρεύμα προκαλεί ροή που ενισχύει την αρχική.



Σχ.1β Η μεταβολή της μαγνητικής ροής, μπορεί να οφείλεται στη μετακίνηση του κυκλώματος, είτε από τράνταγμα αυτού, είτε χειροκίνητα.

## 1.2.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Η κίνηση στους επαγωγικούς κινητήρες επιτυγχάνεται από τα επαγωγικά ρεύματα που αναπτύσσονται στο δρομέα τους. Αυτά τα επαγωγικά ρεύματα δημιουργούνται από τη σχετική διαφορά της ταχύτητας μεταξύ του στρεφόμενου πεδίου και του δρομέα.

Εάν η **ταχύτητα** του δρομέα φτάσει την ταχύτητα του πεδίου, τότε δεν έχουμε εμφάνιση επαγωγικών ρευμάτων ούτε δυνάμεων Laplace, και κατά συνέπεια δεν υπάρχει κίνηση. Συνεπώς, ο δρομέας δε στρέφεται ποτέ με τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, δηλαδή με την ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου αλλά πάντοτε με ταχύτητα μικρότερη απ' αυτήν. Το ποσό κατά το οποίο η ταχύτητα στροφής του δρομέα υστερεί από την ταχύτητα στροφής του πεδίου, καλείται **ολίσθηση**. Η ολίσθηση συμβολίζεται με το γράμμα S, και συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό της σύγχρονης ταχύτητας:

$$S=100(n_s - n)/n_s$$

όπου:

**$n_s$  = στρ/μιν του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.**

**$n$  = στρ/μιν του δρομέα.**

Διευκρινίζεται ότι η ολίσθηση του κινητήρα είναι η ταχύτητα με την οποία οι μαγνητικές γραμμές του στρεφόμενου πεδίου τέμνουν τους αγωγούς του δρομέα.

### 1.2.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΑΜΚ.

Εάν ο κινητήρας ξεκινήσει με τη βοήθεια κάποιου μέσου (μηχανικού ή ηλεκτρικού), θα συνεχίσει να παράγει ροπή στην διεύθυνση εκκίνησης.

Έστω ότι, ο κινητήρας περιστρέφεται ωρολογιακά. Τα ρεύματα που επάγονται στο δρομέα από τη δράση του ανθρωρολογιακού πεδίου, είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα στην περίπτωση του ακινητοποιημένου δρομέα ( $R_2 > R_2/2(2-s)$ ) και ως εκ τούτου, ο  $\Sigma.I.$  είναι χαμηλότερος. Η Μ.Ε.Δ. των ρευμάτων αυτών του δρομέα, Αντιτίθεται στην αντίστοιχη Μ.Ε.Δ. των τυλιγμάτων του στάτη, με αποτέλεσμα την ελάττωση της συνιστώσας της ροής διακένου την οφειλόμενη στο αριστερόστροφο πεδίο. Αντίθετα, τα επαγόμενα ρεύματα στο δρομέα, λόγω του δεξιόστροφου πεδίου, είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα στην περίπτωση του ακινητοποιημένου δρομέα ( $R_2 < R_2/s$ ), με αποτέλεσμα αφενός ο  $\Sigma.I.$  να είναι υψηλότερος και αφετέρου να υπάρξει αύξηση της συνιστώσας της ροής διακένου που οφείλεται στο δεξιόστροφο πεδίο του στάτη.

Με την αύξηση, λοιπόν, της ταχύτητας του δρομέα, έχουμε αύξηση της ροής του ωρολογιακά πεδίου και ανάλογη μείωση της ροής του ανωρολογιακά στρεφόμενου πεδίου. Με την υπόθεση ότι, η πτώση τάσης στην αντίδραση σκέδασης του στάτη είναι αμελητέα, το άθροισμα των δύο ροών,  $\Phi_f$  και  $\Phi_b$ , οφείλει να είναι σταθερό, έτσι ώστε η επαγόμενη Α.Η.Ε.Δ.  $E_s$  να αντισταθμίζει τη σταθερή τάση του δικτύου.

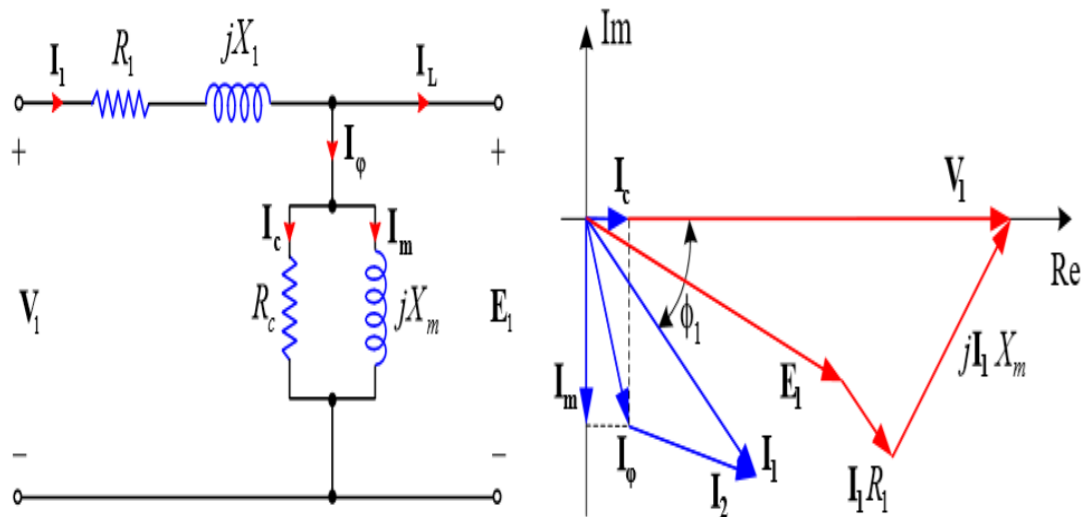
Επομένως, συμπεραίνουμε ότι, στην κανονική περιοχή λειτουργίας το πεδίο του οποίου η φορά συμπίπτει με τη φορά περιστροφής του κινητήρα, είναι αρκετά μεγαλύτερο του αντιθέτου του. Επομένως στην περιοχή αυτή η χαρακτηριστική ροπής στροφών, διαφέρει ελάχιστα από την αντίστοιχη ενός πολυφασικού κινητήρα, όπου έχουμε την ύπαρξη ενός στρεφόμενου πεδίου.

#### 1.2.4 ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ (ΑΜΚ)ΚΑΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ (ΑΤΚ) ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.

- Οι Ασύγχρονοι Μονοφασικοί Κινητήρες, χρησιμοποιούνται κατά κόρο σε συσκευές οικιακής χρήσης και λιγότερο σε βιομηχανικές εφαρμογές. Σε τριφασικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται οι τριφασικοί κινητήρες.
- Οι Α.Μ.Κ. δεν διαθέτουν ροπή εκκίνησης, με αποτέλεσμα για την λειτουργία τους να απαιτούνται πρόσθετες βοηθητικές διατάξεις εκκίνησης(ηλεκτρικές ή μηχανικές). Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, η χαρακτηριστική ροπής στροφών είναι ανάλογη εκείνης του Τριφασικού Κινητήρα. Ο Α.Τ.Κ. είναι αυτοεκκινούμενος (self-starting).
- Η φορά περιστροφής των Ασύγχρονων Τριφασικών Κινητήρων αλλάζει με εναλλαγή των δύο εκ των τριών φάσεων. Οι Ασύγχρονοι Μονοφασικοί Κινητήρες είναι χαμηλότερης ισχύς και χρησιμοποιούνται κυρίως όταν δεν υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε τριφασική τάση.
- Η ισχύς των Α.Μ.Κ. πρακτικά κυμαίνεται, από μερικά δέκατα του Ηρ έως και 3Ηρ. Για μεγαλύτερη ισχύς , χρησιμοποιούνται Τριφασικοί Κινητήρες.

### 1.2.5 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΤΟΥ ΑΤΚ

Η ανάλυση λειτουργίας του 3Φ ασύγχρονου κινητήρα στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας γίνεται μέσω του ισοδύναμου κυκλώματος της μιας φάσης, όπως ακριβώς και με το μετασχηματιστή:



Σχ. 1γ Ισοδύναμο κύκλωμα 3φ ασύγχρονου κινητήρα

$$V_1 = I_1 (R_1 + jX_1) + E_1$$

Σε πλήρη αναλογία με το Μ/Σ, το ρεύμα του τυλίγματος του στάτη αποτελείται από δύο συνιστώσες, τη συνιστώσα φορτίου και τη συνιστώσα διέγερσης:

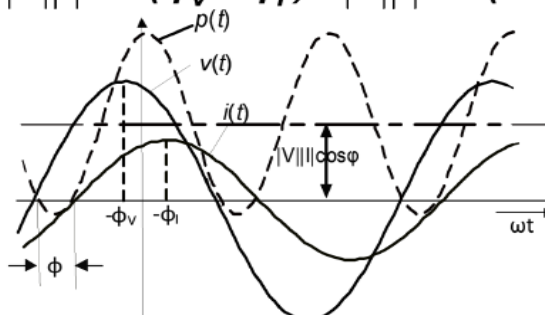
$$I_1 = I_\varphi + I_2$$

## 1.2.6 ΓΙΑ ΠΟΙΟΝ ΛΟΓΟ ΟΙ Α.Μ.Κ. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΟΝΤΑΙ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΤΩΝ 3KW

- Η εξήγηση είναι απροσδόκητη και περιέχει ένα Τεχνικό και ένα Οικονομικό μέρος.
- **ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ:** Στα Μονοφασικά κυκλώματα εναλλασσομένου η στιγμιαία ισχύς είναι δεν είναι σταθερή, αλλά περιέχει έναν ταλαντωτικό όρο (βλ. Σχήμα 1δ). Οι στροφές είναι πάνω κάτω σταθερές και συνεπώς ο ταλαντωτικός όρος της ισχύος μεταφράζεται σε ταλαντωτικό όρο ροπής, αφού  $\text{Power} = \text{torque} \times \text{speed}$ . Πρακτικά λοιπόν, **ο κινητήρας τραντάζεται βίαια όσο μεγαλύτερης ισχύος είναι εξ αιτίας της ταλαντωτικής συνιστώσας στην ροπή** και είναι δύσκολο να τον στερεώσεις. Επομένως, πάνω από **3KW** είναι πολύ δύσκολο έως αδύνατο να το καταφέρεις.
- **ΤΕΧΝΙΚΟΣ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ:** Ο ΑΜΚ έχει ένα μόνο τύλιγμα ισχύος (στον στάτη). Όσο μεγαλύτερη η ισχύς του, τόσα περισσότερα Αμπέρ απορροφά και συνεπώς η διατομή του 1Φασικου του τυλίγματος θα πρέπει να μεγαλώνει. Αυτό τον καθιστά οικονομικά ασύμφορο καθόσον οι τιμές πώλησης των 3Φασικών ανταγωνιστών του (ΑΤΚ) είναι μικρότερες για την γκάμα ισχύος πάνω από 3kW.

## ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ

$$v(t) = \sqrt{2} |V| \cos(\omega t + \varphi_V)$$
$$i(t) = \sqrt{2} |I| \cos(\omega t + \varphi_I)$$
$$p(t) = v(t)i(t) = |V||I| \cos(\varphi_V - \varphi_I) + |V||I| \cos(2\omega t + \varphi_V - \varphi_I)$$

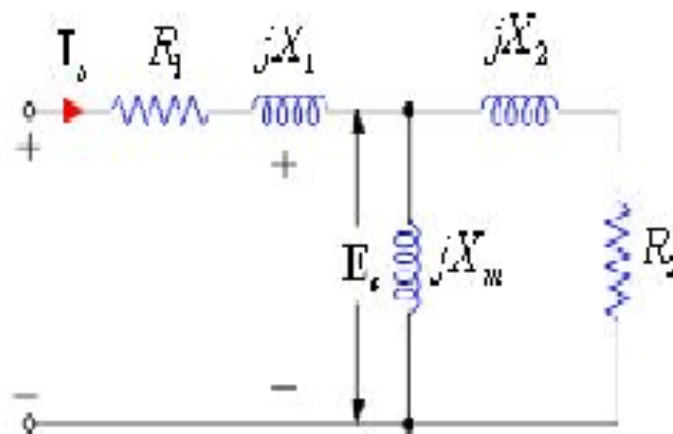


Σχ. 1δ Στιγμιαία Ισχύς σε Μονοφασικό κύκλωμα εναλλασσόμενου

## 2. ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΤΟΥ ΑΜΚ

### 2.1 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

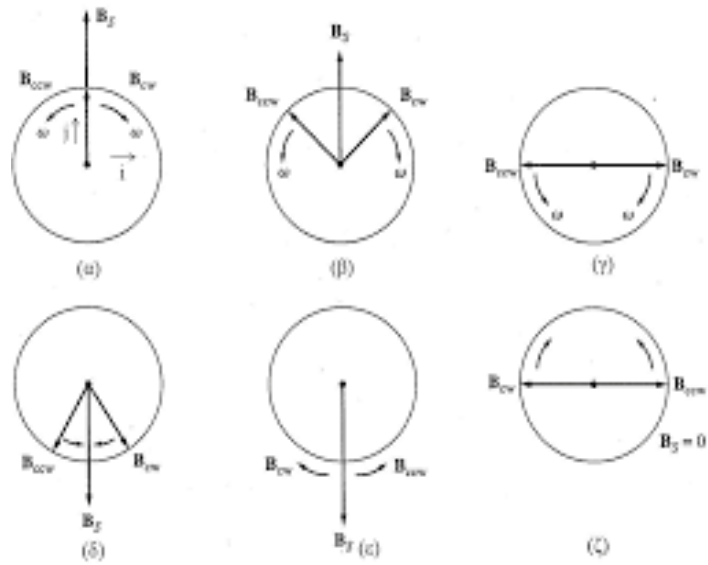
Αρχικά, δίνετε το κυκλωματικό ισοδύναμο τους ΑΜΚ και έπειτα γίνεται ανάλυση των δύο περιστρεφόμενων μαγνητικών πεδίων.



Σχ.2α Κυκλωματικό ισοδύναμο Ασύγχρονου Μονοφασικού Κινητήρα.

Σύμφωνα με τη θεωρία των δύο στρεφόμενων πεδίων, στους μονοφασικούς επαγωγικούς κινητήρες δημιουργείται **ένα μαγνητικό πεδίο που πάλλεται αλλά δεν περιστρέφεται**, και μπορεί να αναλυθεί σε δυο στρεφόμενα πεδία, που έχουν το ίδιο πλάτος και στρέφονται με αντίθετη φορά. Ο επαγωγικός κινητήρας ανταποκρίνεται ξεχωριστά στο κάθε μαγνητικό πεδίο και η συνισταμένη ροπή της μηχανής είναι το άθροισμα των ροπών που οφείλονται στο κάθε πεδίο. Το σχήμα 2β δείχνει τον τρόπο με τον οποίο το μαγνητικό πεδίο, που πάλλεται χωρίς να περιστρέφεται, χωρίζεται σε δυο μαγνητικά πεδία ίσα μεταξύ τους, που περιστρέφονται με αντίθετη φορά. Η μαγνητική επαγωγή του ακίνητου πεδίου δίνεται από τη σχέση :

$$\text{➤ } B_s(t) = B \max \times \cos(\omega \times t) j$$

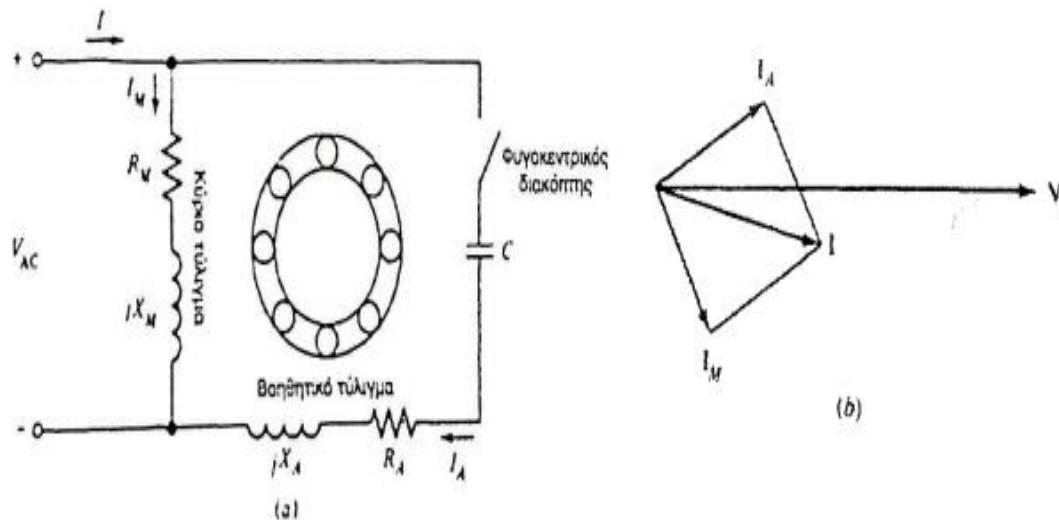


Σχ. 2β Η ανάλυση του απλού παλλόμενου μαγνητικού πεδίου σε δυο μαγνητικά πεδία ίσου μέτρου που περιστρέφονται με αντίθετη φορά. Ας σημειωθεί ότι, σε κάθε χρονική στιγμή το διανυσματικό άθροισμα των δυο μαγνητικών πεδίων βρίσκεται στον κατακόρυφο άξονα.



### 2.1.1 ΤΑ ΔΥΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΑ ΠΕΔΙΑ

Ο κινητήρας με διαχωρισμένα τυλίγματα (split-phasemotor) είναι ένας μονοφασικός επαγωγικός κινητήρας με δύο τυλίγματα στον στάτη, από τα οποία το ένα είναι το κύριο τυλίγμα του στάτη (M) και το άλλο είναι ένα βοηθητικό τυλίγμα εκκίνησης (A)(Σχ.2β). Τα δύο τυλίγματα είναι τοποθετημένα σε απόσταση 90(ηλεκτρικές μοίρες) μεταξύ τους πάνω στην επιφάνεια του στάτη και το βοηθητικό τυλίγμα είναι σχεδιασμένο, ώστε να αποσυνδέεται από το κύκλωμα σε μια προκαθορισμένη ταχύτητα περιστροφής με την χρήση ενός **φυγοκεντρικού διακόπτη**. Επίσης το βοηθητικό τυλίγμα σχεδιάζεται, ώστε να παρουσιάζει μεγαλύτερο λόγο αντίστασης/αντίδρασης από το κυρίως τυλίγμα, με σκοπό το ρεύμα του βοηθητικού τυλίγματος να προηγείται σε σχέση με το ρεύμα του κύριου τυλίγματος. Ο μεγαλύτερος λόγος R/X επιτυγχάνεται με την χρήση αγωγού μικρότερης διατομής στο βοηθητικό τυλίγμα. Ο λεπτότερος αγωγός είναι επιτρεπτός, επειδή αυτό χρησιμοποιείται μόνο για την εκκίνηση και δεν προορίζεται για την ανάληψη όλου του ρεύματος συνεχώς.



Σχ.2γ (α) Ένας επαγωγικός κινητήρας διαχωρισμένων τυλιγμάτων.(β) Τα ρεύματα στον κινητήρα κατά την εκκίνηση.

### 2.1.2 Η ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΕΓΕΡΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ (Μ.Ε.Δ.)

- ✓ Το τύλιγμα του στάτη είναι διανεμημένο κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η χωρική κατανομή της Μ.Ε.Δ. στο διάκενο της μηχανής να είναι πρακτικά ημιτονοειδής.
- ✓ Η Μ.Ε.Δ. του κύριου και βοηθητικού τυλίγματος για φασική απόκλιση των ρευμάτων  $90^\circ$  όπου:

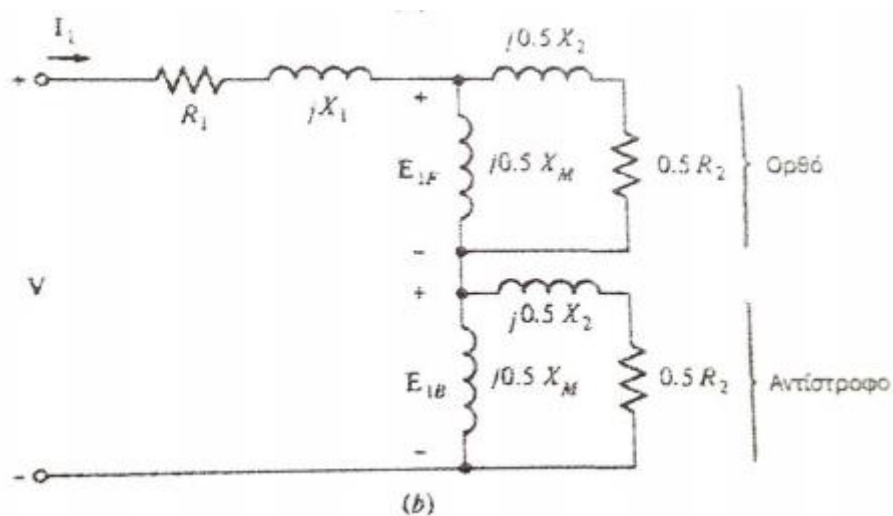
$$\text{➤ } F_{\max} = N_s \times I_m = N_a \times I_a$$

- ✓ Η συνισταμένη Μ.Ε.Δ. είναι :

$$\text{➤ } F = F_{\max} \times \cos(\theta - \omega t)$$

## 2.2 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ (ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ) ΠΕΔΙΩΝ

Η παλλόμενη μαγνητική ροή στο διάκενο του ακινητοποιημένου κινητήρα είναι δυνατό να διαιρεθεί σε δύο ίσα και αντίθετα μαγνητικά πεδία στο εσωτερικό του κινητήρα. Επειδή αυτά τα πεδία είναι του ίδιου μεγέθους και τα δύο προκαλούν τις ίδιες ωμικές και επαγωγικές πτώσεις τάσης στο κύκλωμα του δρομέα. Επίσης είναι δυνατός ο διαχωρισμός του ισοδύναμου κυκλώματος του δρομέα σε δύο τμήματα, ώστε το καθένα να αντιστοιχεί στις επιδράσεις μόνο του ενός πεδίου. Το ισοδύναμο κύκλωμα στο οποίο οι επιδράσεις του ορθού και αντίστροφου πεδίου διαχωρίζονται μεταξύ τους φαίνεται στο Σχ.2α



ΣΧ.2δ Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα που περιστρέφεται με ενεργοποιημένο μόνο το κύριο τύλιγμα του.

Για το ορθό μαγνητικό πεδίο η ανά μονάδα (per-unit) διαφορά της ταχύτητας του δρομέα από τη ταχύτητα περιστροφής του ορθού μαγνητικού πεδίου είναι η ολίσθηση  $s$ , η οποία ορίζεται με τον ίδιο τρόπο που ορίστηκε στους τριφασικούς επαγωγικούς κινητήρες. Έτσι, η αντίσταση του δρομέα στο τμήμα του κυκλώματος που αντιστοιχεί στο ορθό μαγνητικό πεδίο είναι ίση με  $0,5R_2 / s$ .

Το ορθό πεδίο στρέφεται με ταχύτητα  $n_{sync}$ , ενώ το αντίστροφο πεδίο στρέφεται με ταχύτητα  $-n_{sync}$ . Έτσι, η συνολική ανά μονάδα διαφορά ταχύτητας (με βάση την  $n_{sync}$ ) μεταξύ του ορθού και του αντίστροφου πεδίου είναι 2. Επειδή ο δρομέας στρέφεται  $s$  φορές πιο αργά από το ορθό μαγνητικό πεδίο, η συνολική ανά μονάδα διαφορά ταχύτητας μεταξύ του δρομέα και του αντίστροφου μαγνητικού πεδίου είναι

$2 - s$ . Έτσι, η ενεργός αντίσταση του δρομέα στο τμήμα του κυκλώματος που αντιστοιχεί στο αντίστροφο μαγνητικό πεδίο είναι  $0,5R_2 / (1 - s)$ .

Η λειτουργία του **1Φ** μονοφασικού ασύγχρονου κινητήρα, είναι **ισοδύναμη με την ταυτόχρονη δράση "δυο μηχανών", στο ίδιο διάκενο και δρομέα.**

**Παράδειγμα:** όταν ο κινητήρας είναι σε στάση ( $n_r=0$ ), τα δυο στρεφόμενα πεδία παράγουν ίσες κατά μέγεθος ροπές αλλά αντίθετης φοράς, με αποτέλεσμα η συνιστάμενη ροπή να είναι μηδενική.

Το **ισοδύναμο κύκλωμα του 1Φ κινητήρα** στην περίπτωση του **ακινητοποιημένου δρομέα**, είναι ανάλογο με εκείνο του 3Φ κινητήρα.

Στην **κανονικής λειτουργίας** (δηλαδή έστω **δεξιόστροφη/ωρολογιακή λειτουργία**, κοντά στις ονομαστικές στροφές):

• Η **ανοιγμένη αντίσταση του δρομέα η οφειλόμενη στο δεξιόστροφο πεδίο**, είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της αντίστοιχης αντίστασης όταν ο δρομέας είναι σε στάση.

• Αντίθετα η **ανοιγμένη αντίσταση του δρομέα για το αριστερόστροφο πεδίο**, είναι μικρότερη της αντίστοιχης του ακινητοποιημένου δρομέα (περίπου το μισό).

$$\triangleright Z_f = R_f + j \times X_f = \left( \frac{jX_m}{2} \right) \times // \left( \frac{R_2}{2s} + \frac{jX_2}{2} \right)$$

Και

$$\triangleright Z_b = R_b + jX_b = \left( \frac{jX_m}{2} \right) // \left( \frac{R_2}{2(2-s)} + \frac{jX_2}{2} \right)$$

$$\triangleright Z_f > Z_b$$

Η **A.H.E.Δ., Ef**, του **δεξιόστροφου πεδίου**, θα είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης **Eb** του **αριστερόστροφου πεδίου**. Το ανάλογο συμβαίνει και με τις **αντίστοιχες ροές διακένου**.

## 2.3 ΡΟΠΗ-ΙΣΧΥΣ

Οι κινητήρες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια, την οποία απορροφούν από το δίκτυο παροχής για τη λειτουργία τους σε μηχανική ενέργεια ενώ οι γεννήτριες μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια κίνησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Στη μηχανική δημιουργούνται από αυτό πραγματικές απώλειες που εμφανίζονται στη μορφή θερμότητας. Οι απώλειες οι οποίες δημιουργούνται από δυνάμεις και μαγνήτιση και απομαγνήτιση στο μαγνητικό υλικό, ονομάζονται απώλειες σιδήρου. Οι απώλειες που δημιουργούνται από το ρεύμα που διαρρέει τις ωμικές αντιστάσεις του τυλίγματος ονομάζονται απώλειες τυλίγματος. Έξω από δημιουργούνται απώλειες ανεμιστήρα καθώς και απώλειες τριβής στα έδρανα και στις ψήκτρες. Ένα μέτρο για τις δημιουργούμενες ολικές απώλειες είναι ο βαθμός απόδοσης.

Ο βαθμός απόδοσης είναι ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος προς την απορροφούμενη ισχύ. Η απόδοση ισχύος  $P_2$  ενός κινητήρα υπολογίζεται από την μέτρηση της ροπής στρέψης και του αριθμού στροφών. Η απορροφούμενη ισχύς  $P$  είναι η ισχύς που αφαιρείται από το δίκτυο. Στους κινητήρες η ροπή στρέψης σχηματίζεται από τη δράση του μαγνητικού πεδίου του στάτη και του ρεύματος του δρομέα. Το ρεύμα που διέρχεται από το τύλιγμα του δρομέα παράγει γύρω από κάθε σπείρα ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργεί στο μαγνητικό πεδίο του στάτη μία δύναμη  $P$ . Έτσι σχηματίζεται η ροπή στρέψης. Από τη μέτρηση της δύναμης  $P$  στην περιφέρεια του δίσκου κίνησης του κινητήρα είναι δυνατός ο υπολογισμός της αποδιδόμενης ροπής στρέψης που έχει και τις ονομασίες γεννήτρια πέδησης ή ζυγός ισχύος, αποτελείται από μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, της οποίας ο στάτης εδρεύει εύστροφα γύρω από τον άξονα του δρομέα.

Σε διέγερση πεδίου παράγεται στον στάτη μία ροπή η οποία αντιστέκεται στη ροπή κίνησης του κινητήρα (ανθιστάμενη ροπή). Η ροπή αυτή μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια του ζυγού. Η ηλεκτρική ενέργεια που δημιουργείται στη γεννήτρια πέδησης, μετατρέπεται σε θερμότητα στις αντιστάσεις φόρτισης. Ισορροπία μεταξύ της ροπής φόρτισης και της ροπής στρέψης του κινητήρα υπάρχει στην περίπτωση σταθερού αριθμού στροφών. Οι αριθμοί στροφών μετρούνται π.χ. με ταχυγεννήτριες. Ένας κινητήρας αποδίδει την ονομαστική του ισχύ και την ονομαστική του ροπή στον ονομαστικό αριθμό στροφών του.

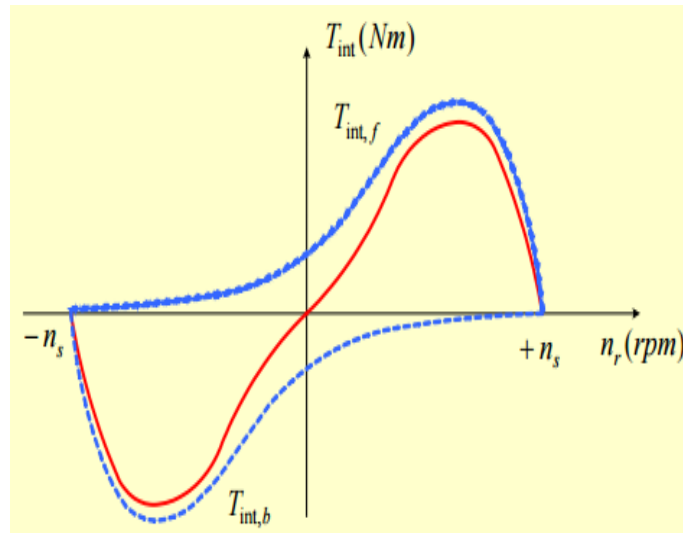
Η **ροπή  $M$**  προκύπτει από το γινόμενο  $M=F*d$  (όπου  $d$  η απόσταση) και σχετίζεται από την εφαρμογή της δύναμης σε ένα σώμα που περιστρέφεται ως προς ένα σημείο. Μετριέται σε Nm («νιουτόμετρα») ή Kgm (χιλιόμετρα ή «κιλά ροπής»). Η ροπή σε ένα κινητήρα είναι το γινόμενο της δύναμης (από την εκτόνωση των καυσαερίων μέσω του εμβόλου) που ασκείται στο στρόφαλο του κινητήρα επί τη απόσταση του σημείου εφαρμογής από τον άξονα περιστροφής. Η ροπή στρέψης σε ένα κινητήρα

δεν είναι σταθερή και μεταβάλλεται στο εύρος των στροφών λειτουργίας ανά κύκλο περιστροφών του κινητήρα.

*Η ισχύς  $P$*  είναι φυσικό μέγεθος που χρησιμοποιείται ως μέτρο σύγκρισης για την απόδοση του κινητήρα και μετριέται σε Watt. Από την σχέση  $P=W/t$  γίνεται αντιληπτό πως η ισχύς προέρχεται από το έργο που παράγεται σε μία δεδομένη στιγμή δηλ. μας δείχνει τον ρυθμό με τον οποίο παράγεται το έργο (όσο πιο γρήγορα παράγεται, τόσο πιο γρήγορη η επιτάχυνση).

### 2.3.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

Ο ασύγχρονος μονοφασικός κινητήρας έχει μηδενική ροπή εκκίνησης. Η χαρακτηριστική ροπής-στροφών του ασύγχρονου μονοφασικού κινητήρα, έχει τη μορφή του παρακάτω σχήματος.



Σχ.2ε Χαρακτηριστική ροπής-στροφών μονοφασικού ασύγχρονου κινητήρα.

•Η χαρακτηριστική αυτή προέρχεται από το **άθροισμα** των δυο επιμέρους χαρακτηριστικών

$$\triangleright T_{int} = f(n_r)$$

των δυο στρεφόμενων πεδίων,  $f$  και  $b$ , αντίστοιχα.

•Εάν λοιπόν ο κινητήρας ξεκινήσει, από τις παραπάνω χαρακτηριστικές είναι προφανές ότι θα συνεχίσει να παράγει **ροπή στη διεύθυνση της εκκίνησης**.

## 2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΑΜΚ

- ✓ Οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες (ή κινητήρες επαγωγής), συνήθως κατασκευάζονται σε κλάσμα της ισχύος του ενός KW.
- ✓ **Αν και οι επιδόσεις τους υστερούν σε σχέση με τους αντίστοιχους τριφασικούς κινητήρες της ίδιας ισχύος, έχουν πληθώρα εφαρμογών τόσο σε οικιακές συσκευές (ψυγεία, μίξερ, κλπ.) όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως αντλίες ανεμιστήρες κλπ.**
- ✓ Το τύλιγμα στο δρομέα του μονοφασικού κινητήρα είναι τύπου **κλωβού** και αυτό σημαίνει ότι, κατασκευαστικά είναι απολύτως όμοιο με το αντίστοιχο τριφασικού κινητήρα. Το **τύλιγμα τυμπάνου** το οποίο βρίσκεται στο στάτη, είναι μονοφασικό διανεμημένο τύλιγμα.
- ✓ Το μονοφασικό τύλιγμα τυμπάνου δεν μπορεί να δημιουργήσει στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, με αποτέλεσμα ο ασύγχρονος μονοφασικός κινητήρας να μην διαθέτει **ροπή εκκίνησης**.
- ✓ Ο λόγος είναι ότι, τα επαγόμενα ρεύματα στον ακινητοποιημένο δρομέα που αναπτύσσονται από τις τάσεις μετασχηματισμού (λόγω της χρονικής μεταβολής της μαγνητικής ροής του τυλίγματος του στάτη), παράγουν με τη σειρά τους ένα **μαγνητικό πεδίο** στο δρομέα συγραμμικά με εκείνο του στάτη. Καθώς λοιπόν τα δύο μαγνητικά πεδία στάτη και δρομέα είναι συγραμμικά, δεν αναπτύσσεται μέση ηλεκτρική ροπή.
- ✓ Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό, τοποθετείται ένα επιπλέον τύλιγμα στο στάτη γνωστό ως **βοηθητικό τύλιγμα** ή **τύλιγμα εκκίνησης** (auxiliarywinding). Ο μαγνητικός άξονας του τυλίγματος αυτού, είναι μετατοπισμένος στο χώρο κατά 90ο ηλεκτρικές μοίρες, σε σχέση με το μαγνητικό άξονα του κύριου τυλίγματος (mainwinding) του στάτη.



### 2.4.1 ΧΡΗΣΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΥ ΤΥΛΙΓΜΑΤΟΣ

Το πρόβλημα της εκκίνησης, λύνεται με την τοποθέτηση στο στάτη ενός επιπλέον τυλίγματος, το λεγόμενο βοηθητικό τύλιγμα (auxiliarywinding) είναι μετατοπισμένος κατά 90 (ηλεκτρικές μοίρες). Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργούμε ένα διφασικό τύλιγμα το οποίο, όπως θα δειχθεί στη συνέχεια παράγει στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Ο κινητήρας στην περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται ως κινητήρας διαιρούμενης φάσης(split-phasemotor).

Τα δύο τυλίγματα του στάτη(κύριο και βοηθητικό), συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Για να υπάρχει φασική απόκλιση ως προς το χρόνο, η αγωγή του βοηθητικού τυλίγματος είναι μικρότερης διατομής σε σχέση με τους αγωγούς του κύριου τυλίγματος και τοποθετούνται στο εξωτερικό μέρος των αυλακώσεων του στάτη. Με αυτό τον τρόπο το βοηθητικό κύκλωμα παρουσιάζει μεγαλύτερη ωμική αντίσταση και μικρότερη επαγωγική αντίσταση, σε σχέση με το κύριο τύλιγμα.

Στην περίπτωση αυτή, η χρονική διαφορά φάσης μεταξύ των ρευμάτων του κύριου και του βοηθητικού τυλίγματος του στάτη, δημιουργείται αποκλειστικά και μόνο από την κατάλληλη επιλογή των επιμέρους ωμικών αντιστάσεων και αυτεπαγωγών των δύο τυλιγμάτων.

Τα δύο αυτά τυλίγματα κατασκευάζονται έτσι ώστε να ισχύει:

$$\triangleright \frac{T_a}{L_a} \gg \frac{T_m}{L_m}$$

Όπου:

- $R_a, L_a$  , ωμική αντίσταση και αυτεπαγωγή βοηθητικού τυλίγματος.
- $R_m, L_m$ , ωμική αντίσταση και αυτεπαγωγή κύριου τυλίγματος.

Η συνδεσμολογία των δύο τυλιγμάτων καθώς επίσης και η προκαλούμενη χρονική διαφορά φάσης μεταξύ των δύο ρευμάτων.

Αν και οι μαγνητικοί άξονες των δύο τυλιγμάτων απέχουν κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες, η αντίστοιχη χρονική φασική απόκλιση των ρευμάτων είναι μικρότερη των 90° .

## 2.4.2 ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

Σε κάποιες εφαρμογές η ροπή εκκίνησης που προσφέρει ένας κινητήρας με διαχωρισμένα τυλίγματα είναι ανεπαρκής για την εκκίνηση του φορτίου που συνδέεται στον άξονα του κινητήρα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν κινητήρες με πυκνωτή εκκίνησης (capacitor-start motor). Σ' έναν κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης, στη σειρά με βοηθητικό τύλιγμα τοποθετείται ένας πυκνωτής. Με την αρχική επιλογή για το μέγεθος του πυκνωτή η μαγνητεργετική δύναμη που παρουσιάζει το ρεύμα εκκίνησης του βοηθητικού τυλίγματος είναι δυνατό να ρυθμιστεί, ώστε να είναι ίση με τη μαγνητεργετική δύναμη που παρουσιάζει το ρεύμα του κυρίως τυλίγματος.

Επίσης, το ρεύμα στο βοηθητικό τύλιγμα μπορεί να γίνει τέτοιο, ώστε να προηγείται σε φάση του ρεύματος στο κύριο τύλιγμα κατά 90 μοίρες. Αφού τα δύο τυλίγματα είναι εξ αρχής ρυθμισμένα, ώστε να παρουσιάζουν διαφορά φάσης 90 μοίρες, αυτή η διαφορά φάσης στο ρεύμα παράγει ένα μονοφασικό ομογενές και στρεφόμενο πεδίο του στάτη, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να συμπεριφέρεται, όπως θα συμπεριφερόταν, αν ξεκινούσε με μια τριφασική πηγή ισχύος. Σ' αυτή την περίπτωση η ροπή εκκίνησης του κινητήρα μπορεί να γίνει πάνω από 300 τοις εκατό της ονομαστικής ροπής.

Οι κινητήρες με πυκνωτή εκκίνησης είναι πιο ακριβοί από τους κινητήρες με διαχωρισμένα τυλίγματα και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, όπου είναι απολύτως απαραίτητη η μεγάλη ροπή εκκίνησης. Τυπικές εφαρμογές αυτών των κινητήρων είναι οι αεροσυμπιεστές, οι αντλίες, τα κλιματιστικά μηχανήματα και άλλα τμήματα διατάξεων που πρέπει να ξεκινούν υπό φορτίο.

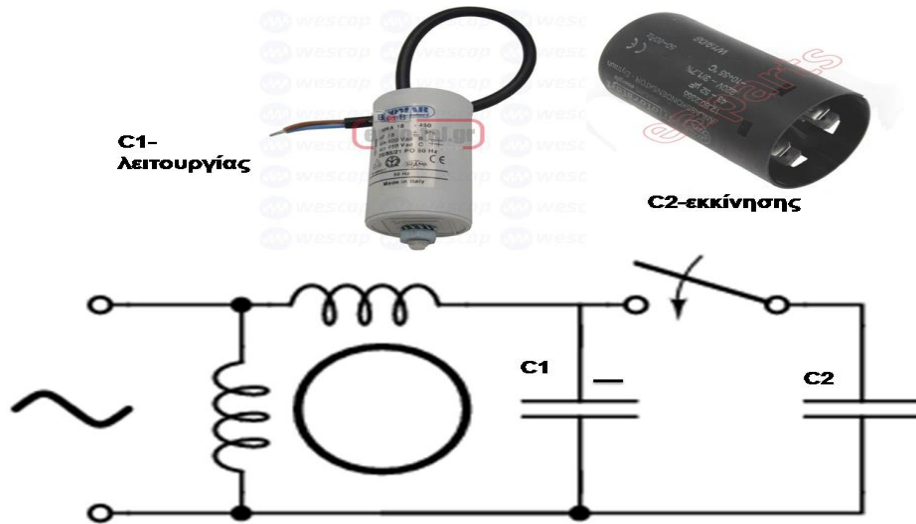




Σχ.2στ (α) Επαγωγικός κινητήρας με πυκνωτή εκκίνησης. (β) Ένας επαγωγικός κινητήρας με πυκνωτή εκκίνησης χωρισμένος στα τμήματά του.

### 2.4.3 ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Μια άλλη πολύ συνηθισμένη διάταξη λειτουργίας του ασύγχρονου μονοφασικού κινητήρα, είναι με τη χρησιμοποίηση ενός επιπλέον πυκνωτή, παράλληλα με τον πυκνωτή εκκίνησης, σχ.2ζ



Σχ.2ζ: Λειτουργία με το βοηθητικό τύλιγμα εντός, μέσω ηλεκτρολυτικού πυκνωτή μόνιμης λειτουργίας.

Σύμφωνα με τα Σχ.2στ, ο διακόπτης εκκίνησης θέτει εκτός μόνο τον ηλεκτρολυτικό πυκνωτή εκκίνησης C1(starting capacitor). Το βοηθητικό τύλιγμα και ο πυκνωτής μόνιμης λειτουργίας C2(running capacitor), παραμένουν μόνιμα συνδεδεμένα στο κύκλωμα. Ο πυκνωτής C2 είναι τύπου χάρτου.

Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνουμε καλύτερη ροπή εκκίνησης και ταυτόχρονα βελτίωση του συντελεστή ισχύος και των χαρακτηριστικών της υπό φορτίο λειτουργίας.

## 2.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΜΚ ΜΕΣΩ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Γενικά, η ρύθμιση των στροφών 1Φ επαγωγικών κινητήρων γίνεται όπως στους 3Φ κινητήρες .

Οι στροφές του κινητήρα δίνονται από την εξίσωση:

$$n = (1 - s) \times n_s = \frac{120 \times (1 - s) \times f}{P}$$

Επομένως, οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι εξής:

- Μεταβολή της συχνότητας τροφοδοσίας.
- Μεταβολή αριθμού πόλων.
- Μεταβολή της ολίσθησης ή ισοδύναμα, της τάσης τροφοδοσίας.

### Μεταβολή Συχνότητας Τροφοδοσίας

Η μεταβολή της συχνότητας τροφοδοσίας απαιτεί κατάλληλη ηλεκτρονική οδήγηση (αντιστροφέα). Συνήθως, η ίδια η οδήγηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε 1Φ και σε 3Φ κινητήρες. Ο κινητήρας πρέπει να έχει σχεδιαστεί ειδικά για χρήση με οδήγηση και για το εύρος των στροφών που μας ενδιαφέρει.

### Μεταβολή αριθμού πόλων

Η μέθοδος αυτή δεν είναι σε ευρεία χρήση, χρησιμοποιείται πάντως για την παραγωγή κινητήρων με δύο ή τρεις ταχύτητες. Τέτοιοι κινητήρες απαιτούνται για παράδειγμα, σε πλυντήρια, όπου η πλύση απαιτεί χαμηλές στροφές, ενώ το στέγνωμα υψηλές στροφές.

### Μεταβολή ολίσθησης ή τάση τροφοδοσίας

Η μέθοδος αυτή μεταβάλλει την ολίσθηση του κινητήρα με μεταβολή της σύνθετης αντίστασης των τυλιγμάτων ή με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας. Χρησιμοποιείται κυρίως σε κινητήρες σχιστών πόλων και κινητήρες μόνιμου πυκνωτή. Αύξηση της τάσης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ροπής, μείωση της ολίσθησης και αύξηση των στροφών. Προκειμένου να επιτύχουμε χαμηλές στροφές, όμως, η ολίσθηση αυξάνει και μαζί της αυξάνουν οι απώλειες και οι ανάγκες ψύξης του κινητήρα.

## 2.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΔΗΣΗΣ

Οι 1Φ κινητήρες είναι γενικά χαμηλής ισχύος και σταματούν συνήθως με αποσύνδεσή τους από την τροφοδοσία. Συνοπτικά έχουμε:

1. Αποσύνδεση από τροφοδοσία.
2. Μηχανική πέδηση( mechanicalbrake). Ο κινητήρας σταματά με πέδη τριβής.
3. Πέδηση με συνεχές ρεύμα, (DCbraking, rhostatingbraking). Τα τυλίγματα του στάτη συνδέονται με πηγή συνεχούς τάσης. Ο κινητήρας εργάζεται σαν βραχυκυκλωμένη γεννήτρια ΣΡ. Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για κινητήρες σχιστών πόλων και κινητήρες μόνιμου πυκνωτή. Στους τελευταίους η συνεχή τάση εφαρμόζεται στο κύριο τυλίγμα ή και στο δευτερεύον, με παράλληλη βραχυκύκλωση των ακροδεκτών του πυκνωτή.
4. Πέδηση με βραχυκύκλωση πυκνωτή,(capacitorshorting). Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται σε κινητήρες μόνιμου πυκνωτή και σύγχρονους κινητήρες υστέρησης. Κατά αυτή τη μέθοδο, ο πυκνωτής βραχυκυκλώνεται, με συνέπεια τα δύο τυλίγματα του κινητήρα να τροφοδοτούνται κατευθείαν από την εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό εξαφανίζεται το περιστρεφόμενο πεδίο και ο κινητήρας μετατρέπεται σε μετασχηματιστή. Φυσικά, προϋπόθεση για την επιτυχία της μεθόδου είναι τα δύο τυλίγματα να είναι ηλεκτρικά όμοια.

Για να ακινητοποιηθεί εντελώς ο κινητήρας απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπάρχει ένα αισθητήριο ταχύτητας έτσι ώστε μόλις οι στρόφες του κινητήρα πλησιάσουν το μηδέν, τότε να ενεργοποιηθεί ο κατάλληλος αυτοματισμός και να αποσυνδεθεί ο κινητήρας από το δίκτυο. Εάν δεν υπάρχει τέτοιος μηχανισμός τότε θα λειτουργήσει ο κινητήρας με αντίθετη φορά περιστροφής.

### 3.ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΜΚ - ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

#### 3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΡΟΠΗΣ-ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΣ, ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΑΜΚ

Για το ρεύμα εισόδου στον κινητήρα, είναι χρήσιμος ο ορισμός των σύνθετων αντιστάσεων  $Z_F$  και  $Z_B$ , όπου  $Z_F$  είναι η σύνθετη αντίσταση που ισοδυναμεί με όλα τα ηλεκτρικά στοιχεία στο ορθό μαγνητικό πεδίο και  $Z_B$  είναι η σύνθετη αντίσταση που αντιστοιχεί με όλα τα ηλεκτρικά στοιχεία στο αντίστροφο μαγνητικό πεδίο. Αυτές οι σύνθετες αντιστάσεις δίνονται από τις σχέσεις:

$$Z_F = R_F + jX_F = \frac{(R_2 / s + jX_2)(jX_M)}{(R_2 / s + jX_2) + jX_M}$$

$$Z_B = R_B + jX_B = \frac{[R_2 / (2 - s) + jX_2](jX_M)}{[R_2 / (2 - s) + jX_2] + jX_M}$$

Με τη βοήθεια των  $Z_F$  και  $Z_B$  το ρεύμα εισόδου στο τύλιγμα του στάτη το επαγωγικού κινητήρα είναι

$$I_1 = \frac{V}{R_1 + jX_1 + 0,5Z_F + 0,5Z_B}$$

Η ανά φάση ισχύς διακένου σε έναν τριφασικό επαγωγικό κινητήρα είναι ίση με την ισχύ που καταναλώνεται στην αντίσταση  $0,5R_2 / s$  το κυκλώματος του δρομέα.

Τελικά, η ισχύς διάκενου για το ορθό μαγνητικό πεδίο, μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση

$$R_{AG,F} = I_1^2 (0,5R_F)$$

Αντίστοιχα, η ισχύς διάκενου για το αντίστοιχο μαγνητικό πεδίο μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση

$$P_{AG,B} = I_1^2 (0,5R_B)$$

Το πλεονέκτημα αυτών των δύο εξισώσεων είναι το ότι για τον υπολογισμό των δύο τμημάτων της ισχύς διακένου απαιτείται ο προσδιορισμός μόνο ενός ρεύματος του  $I_1$ .

Έτσι, η συνολική ισχύς διακένου ενός μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα είναι

$$P_{AG} = P_{AG,F} - P_{AG,B}$$

Η επαγόμενη ροπή ενός τριφασικού κινητήρα υπολογίζεται από την εξίσωση

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}}$$

Οι απώλειες χαλκού στον δρομέα μπορούν να προσδιοριστούν με το άθροισμα των απωλειών χαλκού στο δρομέα που οφείλονται στο ορθό πεδίο και των απωλειών χαλκού στο δρομέα που οφείλονται στο αντίστροφο πεδίο.

$$P_{RCL} = P_{RCL,F} + P_{RCL,B}$$

Οι απώλειες χαλκού στο δρομέα του τριφασικού επαγωγικού κινητήρα είναι ίσες με το γινόμενο της ανά μονάδα σχετικής κίνησης μεταξύ των πεδίων του στάτη και του δρομέα (της ολίσθησης) επί την ισχύ διακένου. Όμοια, οι απώλειες χαλκού στο δρομέα ενός μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα, που οφείλονται στο ορθό πεδίο, δίνονται από τη σχέση

$$P_{RCL,F} = sP_{AG,F}$$

Ενώ οι απώλειες χαλκού στο δρομέα του κινητήρα, που οφείλονται στο αντίστροφο πεδίο, δίνονται από τη σχέση

$$P_{RCL,B} = sP_{AG,B}$$

Επειδή, οι παραπάνω μορφές απωλειών στο δρομέα αντιστοιχούν σε διαφορετικές συχνότητες, οι συνολικές απώλειες στο δρομέα είναι ακριβώς ίσες με το άθροισμα τους.

Η ισχύς που μετατρέπεται από ηλεκτρική σε μηχανική μορφή στο εσωτερικό ενός μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα, δίνεται από την ίδια εξίσωση που εκφράζει την  $P_{conv}$  στους τριφασικούς επαγωγικούς κινητήρες. Αυτή η εξίσωση είναι η



$$P_{conv} = \tau_{ind} \omega_m$$

Επειδή  $\omega_m = (1-s)\omega_{sync}$ , η παραπάνω εξίσωση εκφράζεται και ως

$$P_{conv} = \tau_{ind} (1-s) \omega_m$$

Ισχύει  $P_{AG} = \tau_{ind} \omega_{sync}$ , δηλαδή η  $P_{conv}$  μπορεί επίσης να οριστεί και από την

$$P_{conv} = (1-s) P_{AG}$$

Τέλος, ο συντελεστής απόδοσης του κινητήρα κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\%$$

Βασιζόμενη στο κυκλωματικό ισοδύναμο που αναφέραμε στο κεφάλαιο 2, παρουσιάζουμε τη θεωρητική ανάλυση για τον υπολογισμό της ροπής στροφών.

Η **συνισταμένη ηλεκτρομαγνητική ροπή**, δίνεται από τη διαφορά των δυο επιμέρους ροπών των πεδίων:

$$\triangleright T_{em} = T_f + T_b$$

Η **ισχύς διακένου των δυο επιμέρους πεδίων**:

$$\triangleright P_{gf} = I_s^2 \times R_f$$

Και

$$\triangleright P_{gp} = I_s^2 \times R_b$$

Η συνολικά παραγόμενη εσωτερική ροπή:

$$\triangleright T_{int} = \frac{1}{\omega_s} \times I_s^2 \times (R_f - R_b)$$

Η **εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική ισχύς στον άξονα της μηχανής**:

$$\triangleright P_{\text{int}} = (1-s) \times P_g = (1-s) \times I_s^2 \times (R_f - R_b)$$

Η **καθαρή μηχανική ισχύς στον άξονα**, προκύπτει εάν αφαιρεθούν οι μηχανικές απώλειες (τριβών και ανεμισμού), καθώς και οι ηλεκτρικές απώλειες του πυρήνα (υστέρησης και δινορευμάτων):

$$\triangleright P_m = P_{\text{int}} - P_{w,c}$$

### 3.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ - ΙΣΧΥΟΣ

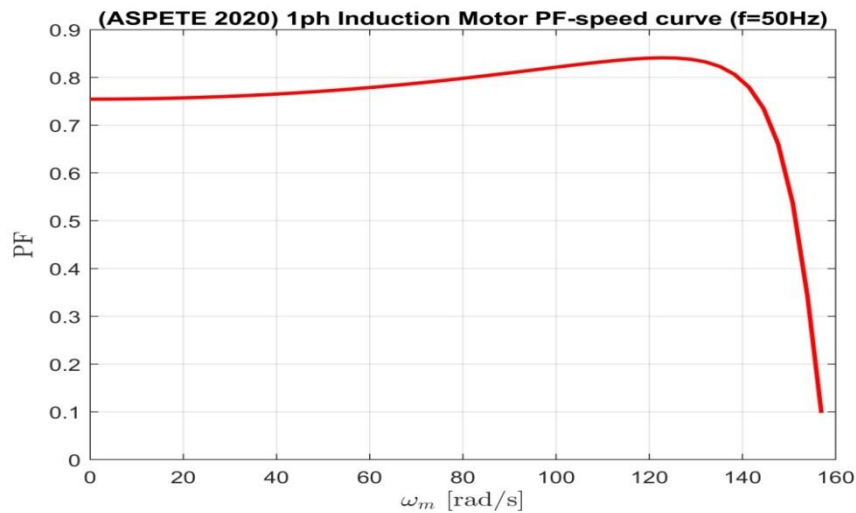
Ο κινητήρας για τις προσομοιώσεις είναι αυτός του Μαλατέστα σελ. 510 -

Παράδειγμα 8.1

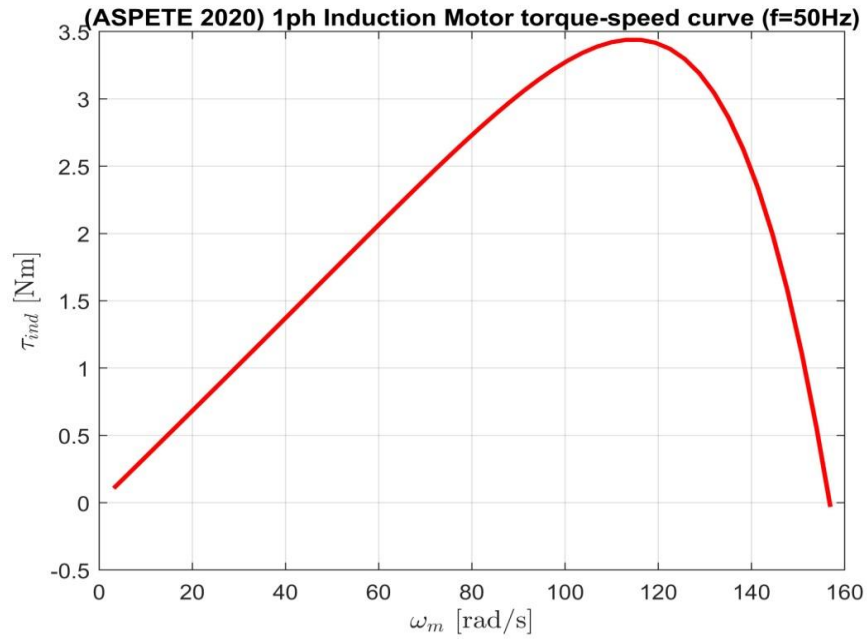
ισχύς = 1/4 hp

```
disp('=====')
disp(' = Data Set #1 = Malatestas Paradeigma 8.1 ')
disp('=====')
DataSet=1 %==
%=== EQUIV CIRCUIT
R1 = 2.2 ;
R2 = 4.4 ;
X1 = 3.0 ;
X2 = 2.3 ;
Xm = 68.0 ;
%==== Pcore, Pfw
Pcore = 20; Pfw = 10;
```

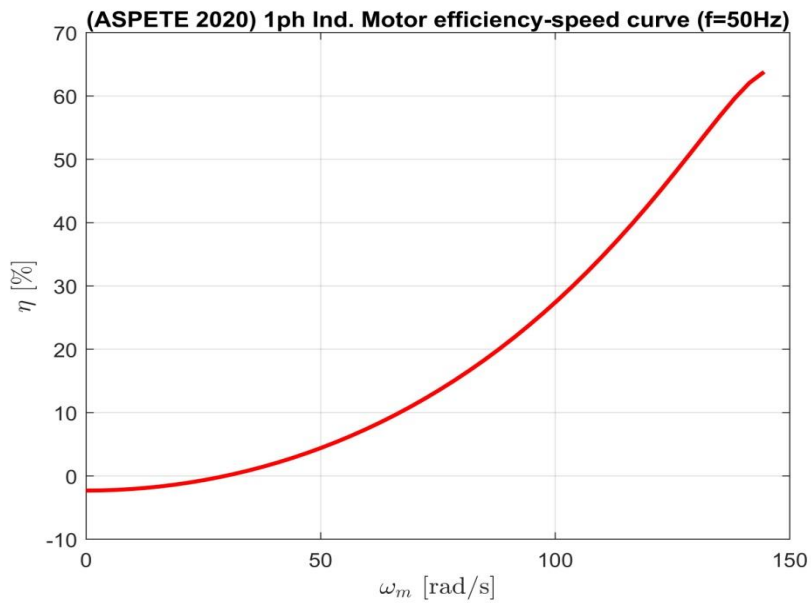
Αν επαναλάβουμε τους παραπάνω υπολογισμούς από την ενότητα 3.1, για την γκάμα ολίσθησης-τροφών θα πάρουμε τις καμπύλες που εμφανίζονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχ.3.2.1 Γραφική παράσταση συντελεστή ισχύος και τροφών.

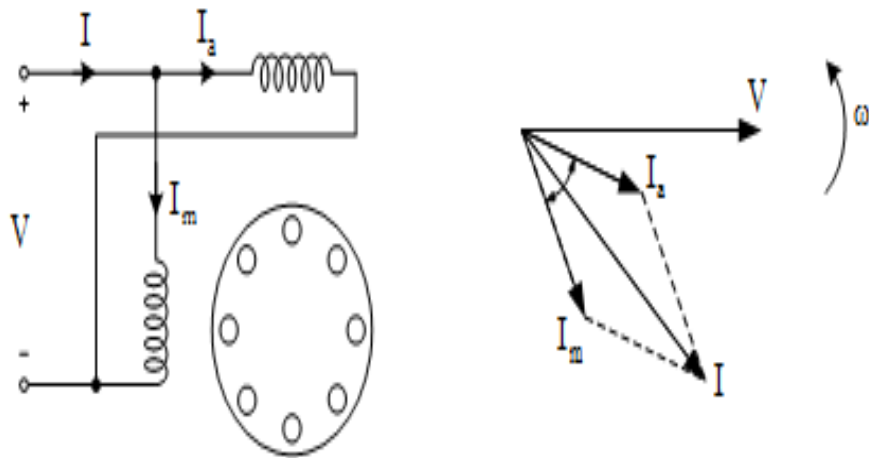


Σχ.3.2.2 Γραφική παράσταση ροπής  $T_{int}$  [Nm] και στροφών  $\omega_m$  [rad/s] μονοφασικού κινητήρα.



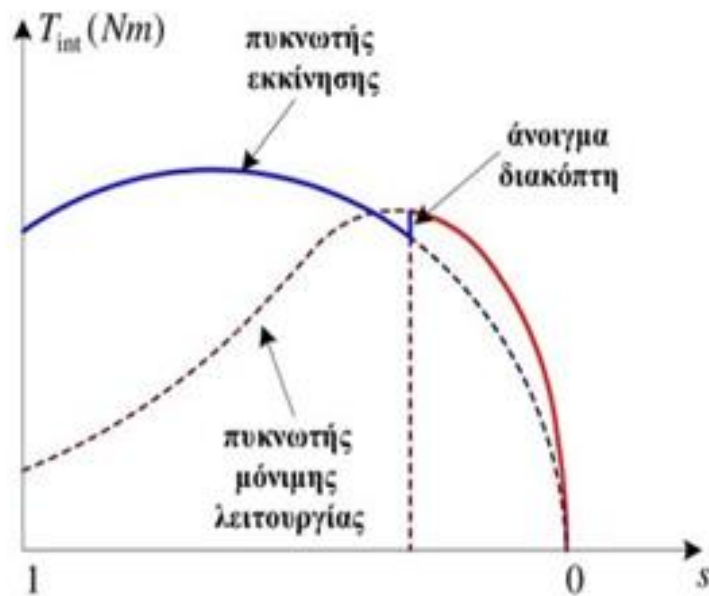
Σχ.3.2.3 Γραφική παράσταση απόδοσης  $\eta$  [%] και στροφών  $\omega_m$  [rad/s] μονοφασικού κινητήρα.

### 3.3 ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΤΥΛΙΓΜΑ ΚΑΙ ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

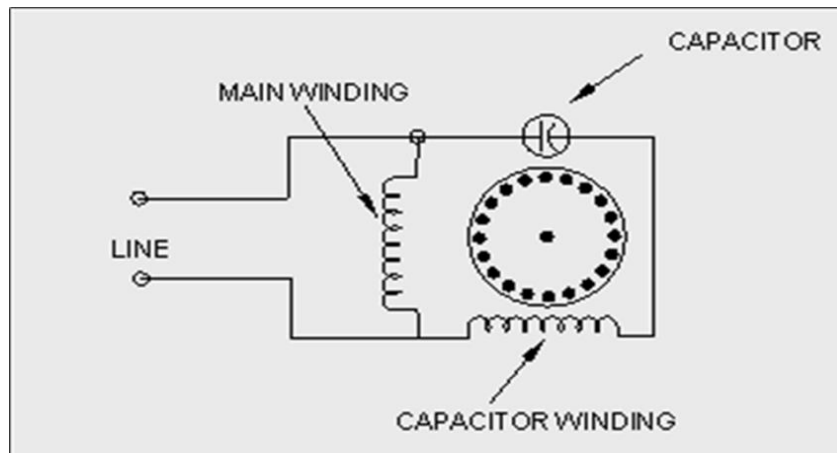


Σχ. 3γ Εκκίνηση με βοηθητικό τύλιγμα και ηλεκτρολυτικό πυκνωτή. (α) Συνδεσμολογία.

(β) Διανυσματικό διάγραμμα.



Σχ. 3δ Χαρακτηριστική ροπής-στροφών. Εκκίνηση με πυκνωτή.



Σχ. 3ε Ασύγχρονος μονοφασικός κινητήρας με βοηθητικό τύλιγμα.

### 3.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΥΚΝΩΤΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΥΠΙΚΟ ΑΜΚ

#### Παράδειγμα:

Διπολικός μονοφασικός κινητήρας,  $P=1/4\text{Hp}$ ,  $V=230\text{V}$ ,  $f=50\text{Hz}$ , έχει της εξής σύνθετες αντιστάσεις για το κύριο και το βοηθητικό τυλίγμα.

$$z_m = 4.2 + j3.8\Omega$$

Και

$$z_a = 9.1 + j2.6\Omega$$

Να βρεθεί η απαιτούμενη τιμή τη χωρητικότητας του ηλεκτρολυτικού πυκνωτή εκκίνησης, έτσι ώστε κατά την εκκίνηση τα δύο ρεύματα να είναι κάθετα μεταξύ τους.

#### Μαθηματική επίλυση:

Είναι

$$z_m = 4.2 + j3.8 = 5.66 \angle 42.14^\circ$$

Και

$$z_a = 9.1 + j2.6 = 9.56 \angle 15.78^\circ \Omega$$

Για να προηγείται το ρεύμα  $I_a$  του βοηθητικού τυλίγματος του  $I_m$  κατά  $90^\circ$ , θα πρέπει η γωνία  $\Phi_\alpha$  σε σχέση με το άνοσμα της τάσης να είναι

$$\Phi_\alpha = -90^\circ + 42.14^\circ = -47.86^\circ$$

Αλλά

$$Z'_\alpha = Z_\alpha + Z_c = 9.1 + j \times (2.6 - X_c) \Omega$$

$$\Rightarrow \Phi_{\alpha} = \tan^{-1} \left[ \frac{2.6 - X_c}{9.1} \right] = -47.86^{\circ}$$

Και

$$X_c = 12.66\Omega$$

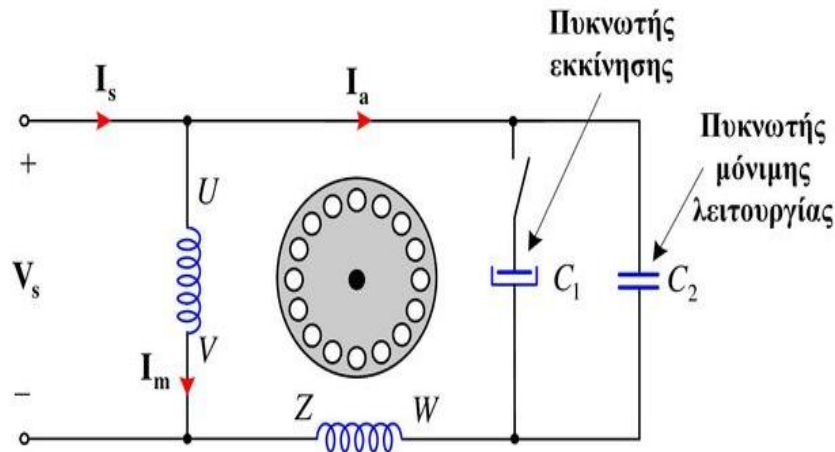
Η

$$C = 251\mu F$$



### 3.5 ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Μια άλλη πολύ συνηθισμένη διάταξη λειτουργίας του ασύγχρονου μονοφασικού κινητήρα, είναι με τη χρησιμοποίηση ενός επιπλέον πυκνωτή, παράλληλα με τον πυκνωτή εκκίνησης.



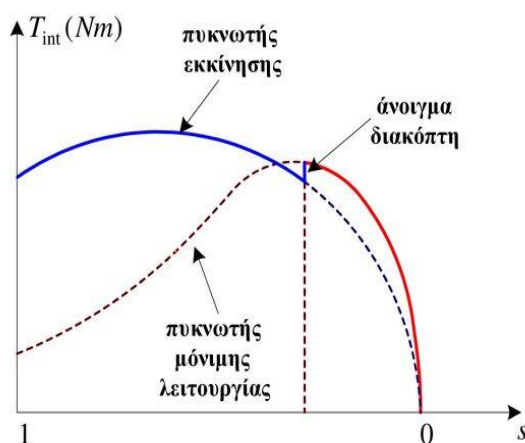
Σχ. 3στ Λειτουργία με το βοηθητικό τύλιγμα εντός, μέσω ηλεκτρολυτικού πυκνωτή μόνιμης λειτουργίας.

Ο διακόπτης εκκίνησης θέτει εκτός μόνο τον ηλεκτρολυτικό πυκνωτή  $C_1$  (starting capacitor). Το βοηθητικό τύλιγμα και ο πυκνωτής μόνιμης λειτουργίας  $C_2$  (running capacitor), παραμένουν μόνιμα συνδεδεμένα στο κύκλωμα. Ο πυκνωτής  $C_2$  τύπου χάρτου.

Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνουμε καλύτερη ροπή εκκίνησης και ταυτόχρονα βελτίωση του συντελεστή ισχύος και των χαρακτηριστικών της υπό φορτίο λειτουργίας. Η χαρακτηριστική ροπής-στροφών, δείχνεται στο παρακάτω σχήμα.

## Τοποθέτηση Πυκνωτή Μόνιμης Λειτουργίας - 2

Η χαρακτηριστική  $T_{int} = f(n)$ :



15

Σχ. 3ζ Χαρακτηριστικές ροπής στροφών με πυκνωτές εκκίνησης και μόνιμης λειτουργίας.

Οι εξισώσεις μόνιμης κατάστασης, καθώς και το αντίστοιχο ισοδύναμο κύκλωμα, προκύπτουν σχετικά εύκολα εάν φανταστούμε ότι, με τα δύο τυλίγματα του στάτη είναι σαν να έχουμε την ταυτόχρονη δράση δυο μονοφασικών κινητήρων στον ίδιο άξονα και με το ίδιο τύλιγμα κλώβου.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, οι εξισώσεις τάσης-ρεύματος των δυο τυλιγμάτων του στάτη, είναι

$$V_m = (R_1 + jX_1) I_m + E_m$$

Και

$$V_a = (R_{1a} + jX_{1a} + jX_c) I_a + E_a$$

Μεταξύ των παραπάνω μεγεθών, ισχύει ότι:

$$V_s = V_m = V_a$$

Και

$$I_s = I_m + I_a$$

Οι αντιηλεκτρεγερτικές δυνάμεις,  $E_m$  και  $E_a$ , έχουν από τέσσερις επιμέρους συνιστώσες, οφειλόμενες αντίστοιχα στα τέσσερα επιμέρους στρεφόμενα πεδία των δύο στάσιμων κυμάτων, του κύριου και του βοηθητικού τυλίγματος. Επομένως,

$$E_m = E_{mf} + E_{mb} + E_{mfa} + E_{mba}$$

Και

$$E_a = E_{af} + E_{ab} + E_{afm} + E_{abm}$$

Όπου με τους δέκτες “f” και “b”, συμβολίζουμε τις αντίστοιχες συνιστώσες των πεδίων ορθής και ανάστροφης φοράς περιστροφής αντίστοιχα.

Η ορθή φορά περιστροφής είναι από τον μαγνητικό άξονα του βοηθητικού τυλίγματος προς τον αντίστοιχο άξονα του κύριου τυλίγματος, καθόσον το ρεύμα  $I_a$  προηγείται του ρεύματος  $I_m$ .

Επομένως, η συνιστώσα  $E_{mfa}$ , η οποία οφείλεται στο πεδίο ορθής φοράς του βοηθητικού τυλίγματος, καθυστερεί κατά  $90^\circ$  ως προς το χρόνο, σε σχέση με την αντίστοιχη συνιστώσα  $E_{af}$  της Α.Η.Ε.Δ.  $E_a$ .

Προφανώς τα μέτρα των τάσεων αυτών είναι ανάλογα του αριθμού των σπειρών,  $N_m$  και  $N_a$ , των επιμέρους τυλιγμάτων. Επομένως,

$$E_{mfa} = -j \frac{E_{af}}{a}$$

Όπου

$$a = \frac{N_a}{N_m}$$

Με το ίδιο σκεπτικό καταλήγουμε ότι:

$$E_{mba} = +j \frac{E_{ab}}{a}$$

$$E_{afm} = +j\omega E_{fm}$$

$$E_{abm} = -jE_{mb}$$

Συμπεριλαμβάνοντας στους υπολογισμούς και το ωμικό μέρος  $R_c$ , του πυκνωτή μόνιμης λειτουργίας, τα ισοδύναμα κυκλώματα του κινητήρα είναι:

$$Z_{fa} = \frac{E_{af}}{I_a} = \frac{a^2 E_{fm}}{I_m} = a^2 Z_{fm} = a^2 (R_{fm} + jX_{fm})$$

Η γενική έκφραση της ροπής δίνεται από τη σχέση

$$T = \frac{P_{gf} - P_{gp}}{\omega_s} = \frac{\text{Re} \left[ (E_f - E_b) I_m + ja (E_f - E_b) I_a \right]}{\omega_s}$$

Η χωρητικότητα του πυκνωτή εκκίνησης, για ροπή εκκίνησης περίπου ίση με τη ονομαστική, υπολογίζεται προσεγγιστικά από την σχέση:

$$C_1 = \frac{P3 \times 10^6}{V^2 \cos \varphi}$$

Και για τον πυκνωτή μόνιμης λειτουργίας:

$$C_2 = \frac{1}{3} C_1$$

## 4.ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΜΚ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

### 4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ

Οι **ρυθμιστές στροφών** είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με την τροφοδοσία των ηλεκτροκινητήρων. Κάθε κινητήρας για να μπορέσει να παράξει ροπή και ταχύτητα, χρειάζεται την αντίστοιχη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι ρυθμιστές στροφών (γνωστοί και ως μετατροπείς συχνότητας, **drives ή inverters**) τροφοδοτούν έναν κινητήρα με τον κατάλληλο τρόπο, εξασφαλίζοντας τη λειτουργία του στις επιθυμητές στροφές και αντικαθιστούν συμβατικές και ενεργοβόρες μεθόδους, όπως διατάξεις απόσβεσης και στραγγαλισμού, γρανάζια και μειωτήρες και άλλα συστήματα. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνουν τη συνολική απόδοση των εφαρμογών κίνησης, συμβάλλοντας σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε κάθε βιομηχανία.

Οι ρυθμιστές στροφών διαθέτουν για τον χειρισμό τους ένα ποτενσιόμετρο, για την ρύθμιση των στροφών, στο επιθυμητό σημείο του χρήστη, από ένα κατώτερο προρυθμιζόμενο όριο έως το μέγιστο.

### **Ρυθμιστές στροφών(LV acdrives) της ABB.**

Οι ρυθμιστές στροφών της **ABB** είναι εύκολοι στην επιλογή, αγορά, εγκατάσταση, θέση σε λειτουργία, χρήση και συντήρηση. Όλοι οι ρυθμιστές στροφών της ABB συνοδεύονται από την υπόσχεση υποστήριξής της, οπουδήποτε στον κόσμο κι αν χρησιμοποιούνται. Μερικοί από του τύπους αυτών είναι οι εξής:

1. Ρυθμιστής στροφών **ACS55** για απλές μηχανολογικές εφαρμογές από **0.18** έως **2.2kW**:



Ο ρυθμιστής στροφών **ACS55** εγκαθίσταται εύκολα σε υφιστάμενους πίνακες, στη θέση των εκκινητών των κινητήρων. Υποκαθιστά τα ρελέ μαζί με τη θερμική προστασία και ταυτόχρονα παρέχει όλες τις δυνατότητες ρύθμισης στροφών, ροπής, χρόνου εκκίνησης, πέδησης κλπ. Έχει μικρό μέγεθος κάτι που τον καθιστά ιδιαίτερα ευέλικτο.

**2. Ρυθμιστής στροφών ACS150 για απλές μηχανολογικές εφαρμογές από 0.37 έως 4kW:**



**Μεγέθη πλαισίου ACS150:**  
R0, R1, R2



Ο ρυθμιστής στροφών **ACS150** διαφέρει από τον **ACS55** ως προς την ισχύ και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Διαθέτει ενσωματωμένο χειριστήριο παραμετροποίησης. Περιλαμβάνει περισσότερες λειτουργίες και δυνατότητες.

**3. Ρυθμιστής στροφών ACS350 για απλές μηχανολογικές εφαρμογές από 0.37 έως 22kW:**



**Μεγέθη πλαισίου ACS350:**  
R0, R1, R2, R3, R4

Ο ρυθμιστής στροφών **ACS350** συμπληρώνει τη σειρά ρυθμιστών μέχρι **22kW** και τους τρόπους ρύθμισης - χειρισμού εφαρμογής. Διαθέτει αποσπώμενο χειριστήριο παραμετροποίησης με δυνατότητα εγκατάστασής του σε άλλη θέση εκτός από εκείνη του ρυθμιστή στροφών.

4. Ρυθμιστής στροφών **ACS550** για απλές τυπικές εφαρμογές από **0.75** έως **45kW**:



Ο ρυθμιστής στροφών **ACS550** καλύπτει τις ανάγκες απαιτητικών εφαρμογών μέχρι και **45kW**. Διαθέτει αποσπώμενο χειριστήριο παραμετροποίησης με δυνατότητα εγκατάστασής του σε άλλη θέση εκτός από εκείνη του ρυθμιστή στροφών.

## 4.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΜΚ

Οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται όχι μόνο στον οικιακό τομέα (όπως π.χ. πλυντήρια, μίξερ, ηλεκτρικές σκούπες, κλιματιστικά, ανεμιστήρες) αλλά και στη βιοτεχνία, το γραφείο, τα εμπορικά καταστήματα, την Ιατρική.



Σχ.4.2.α Οι κοινές συνθήκες λειτουργίας αυτών των κινητήρων περιλαμβάνουν θερμοκρασίες περιβάλλοντος  $-15^{\circ}\text{C}$  έως  $+40^{\circ}\text{C}$ , ύψος έως 1000 μ. από την επιφάνεια της θάλασσας, τάση ρεύματος 220-230 V (σειρά MC 220 V) με συχνότητα 50Hz, η κλάση μόνωσης είναι F ενώ ο βαθμός προστασίας είναι IP44 (στη σειρά κινητήρων αλουμινίου MC ισχύει IP54 για το κύριο μέρος του μοτέρ και IP55 για τα κυτία συνδεσμολογίας). Τέλος για ψύξη χρησιμοποιείται ανεμιστήρας πάνω στον άξονα.



Παρακάτω βλέπουμε την χρήση κινητήρα σε βιομηχανικές μηχανές παραγωγής.



Σχ.4.2.β Ηλεκτρική κίνηση στο μηχάνημα των εργατών για εργολαβίες.



Σχ.4.2.3 Ηλεκτρική κίνηση στον ανεμιστήρα εξάτμισης του εργαστηρίου.

#### 4.2.1 ΟΙΚΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ

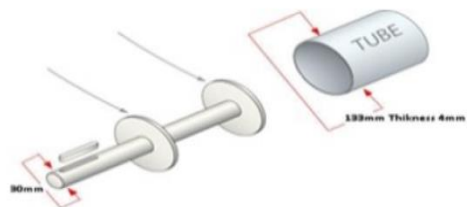


Σχ.4.2.1α Οικιακές ηλεκτρικές συσκευές και ο κινητήρας τους.



Σχ.4.2.1β Ηλεκτροκινητήρας 220V 2800 στροφών με περιέλιξη χαλκού.

## 4.2.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΡΟΛΑ



Σχ.4.2.2α Βιομηχανικός τριφασικός και μονοφασικός κινητήρας πλευρικός για ρολά βάρους 200 έως 1200 κιλά με απευθείας μετάδοση κίνησης ή αλυσίδας.

### 4.2.3 ΑΝΤΛΙΕΣ ΝΕΡΟΥ, ΛΑΔΙΟΥ



Σχ.4.2.3α Αντλίες για πισίνες απλής και αυτόματης αναρρόφησης. Οριζόντιες και κατακόρυφες με τριφασικό ή μονοφασικό ηλεκτροκινητήρα, κινητήρα συνεχούς ρεύματος, συσκευές αντίθετης κολύμβησης, φίλτρα, βάνες και παρελκόμενα.



Σχ.4.2.3β Υποβρύχια αντλία νερού αποχέτευσης με μονοφασικό κινητήρα.



Παρακάτω βλέπουμε μία αντλία μεταφοράς λαδιού ViscomatVane 90, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα ρύθμισης της λειτουργίας με κλειστή παροχή, χάρη στην εφαρμογή της παράκαμψης που είναι ενσωματωμένη στο σώμα της αντλίας.



Σχ.4.2.3γ Αντλία μεταφοράς λαδιού ViscomatVane 90.

Αυτό το μικρό ίζημα, ελαιοτριβείο, δεν έχει μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής, η χωρητικότητά του είναι μόλις 30-50kg/h. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρή φάρμα πουλερικών ή να χρησιμοποιούνται στο σπίτι για να κάνουν πέλλετ.σ



Σχ.4.2.3δ Οικιακή χρήση μικρές ίζημα επαναιωρείται μηχανήμα FDSP ζωοτροφών ίζημα επαναιωρείται ελαιοτριβείο. Ισχύς:3kw τόσο μονοφασική αλλά και τριφασική.

#### 4.2.4 ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ



Σχ.4.2.4α Υποβρύχιοι Κινητήρες Γεωτρήσεων Hydroo ΗΥΑ/ΗΟΑ

Υποβρύχιοι ανοξείδωτοι κινητήρες γεωτρήσεων ελαιολίπαντοι περιελίξιμοι ή υδρολίπαντοι, κατά ΝΕΜΑ. Φέρουν αποσπώμενο καλώδιο με φικς και ειδικά σχεδιασμένο ωστικό έδρανο υψηλής αντοχής, με δυνατότητα οριζόντιας τοποθέτησης.



Σχ.4.2.4β Υποβρύχιοι κινητήρες ελαιολίπαντοι. Δεν εμπεριέχουν πυκνωτή.

#### 4.2.5 ΕΞΑΕΡΙΣΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑΣ



Σχ.4.2.5α Εξαεριστήρες απορροφητήρας τζακιού με ρυθμιστή στροφών με μονοφασικό κινητήρα.



Σχ.4.2.5β Φυγοκεντρικοί απορροφητήρες χαμηλής, μέσης πίεσης κατασκευασμένοι από γαλβανισμένο χαλυβδόελασμα.

#### 4.2.6 ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΡΟΥΧΩΝ



Σχ.4.2.4α Γαζωτική μηχανή ραψίματος με δύο πηνία νημάτων κατάλληλη για επιδιορθωτήρια και βιομηχανίες.



Σχ.4.2.4β Ραπτομηχανή με μοτέρ 100W.



#### 4.2.7 ΠΛΥΝΤΗΡΙΑ



Σχ. 4.2.α Πλυντήρια πιάτων και ρούχων για πλήρη καθαρισμό, με χρήση ασύγχρονου μονοφασικού κινητήρα.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### 5.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι Ασύγχρονοι Μονοφασικοί Κινητήρες στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας τους.

Αναλύσαμε, τα εσωτερικά και εξωτερικά στοιχεία του κινητήρα και πιο συγκεκριμένα είδαμε τους παράγοντες που βοηθούν στην εκκίνηση του. Μελετήσαμε την ροπή, την ισχύ, την ολίσθηση, την ταχύτητα ενός ΑΜΚ. Στη συνέχεια, ερευνήσαμε τον λόγο που οι κινητήρες αυτοί κατασκευάζονται μέχρι μια συγκεκριμένη ισχύ.

Έπειτα, αναλύσαμε τις μεθόδους εκκίνησης του ΑΜΚ και τα βοηθητικά μέσα που συμβάλλουν στην εκκίνηση του, όπως είναι ο πυκνωτής εκκίνησης, ο πυκνωτής μόνιμης λειτουργίας και το βοηθητικό τύλιγμα. Συνάμα, όλα τα παραπάνω, τα επαληθεύσαμε με θεμελιώδεις υπολογισμούς.

Επίσης, ερευνήσαμε τις εφαρμογές των Ασύγχρονων Μονοφασικών Κινητήρων σε συσκευές/μηχανήματα της καθημερινότητας μας, αλλά κυρίως στη βιομηχανία. Τέλος, θα θέλαμε να επισημάνουμε ότι, αν υπήρχε περισσότερος χρόνος να εμπλουτίσουμε την εργασία μας, θα εφαρμόζαμε την θεωρητική μελέτη στην κατασκευή ενός Ασύγχρονου Μονοφασικού Κινητήρα και θα επισκεπτόμασταν Βιομηχανίες, ώστε να δούμε από κοντά την χρήση αυτών των κινητήρων.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

```
disp('Single Phase Ind Motor - Similar to MALATESTAS Book Ex.
8.1 p.510 ..... ')
disp('.... and Chapman Example .... p. ??? 16Mar2020 ')
clear all ; close all ; clc
disp(date)

%=====
% Single Phase Induction Motor
%=====
deg2rad = pi/180; rad2deg = 180/pi;
%=====
hp2kW = 0.7456999 ; hp2W = 746 ;

DataSet=1 %== DATA SET #1
machine_poles = 4
disp('f_el = 60Hz !!!! USA ');f_el = 60
f_el = 50 %== EUROPEAN Network
Power_hp = 1/4 ;
%=====
Power_kW = Power_hp*hp2kW % 18.6425
Power_W = Power_hp*hp2W % Power_W = Power_hp*hp2W %

V_terminal = 120 % V_polar = 400
V_phase_mag = V_terminal % /sqrt(3) % 230.9401
disp('V_phase = V_phase_mag + j*0 IT IS A PHASOR !!!!')
V_phase = V_phase_mag + j*0

%=====
% DATA SET #1 = Malatest Textbook Example 8.1 p. 510
%=====
disp(' ===== ')
disp(' = Data Set #1 = MalatestasParadeigmqa 8.1 ')
disp(' ===== ')
DataSet=1 %==
%=== EQUIV CIRCUIT
R1 = 2.2 ;
R2 = 4.4 ;
X1 = 3.0 ;
X2 = 2.3 ;
Xm = 68.0 ;
%===== Pcore, Pfw
Pcore = 20; Pfw = 10;
% Pcore = 10; Pfw = 5;
% %=== slip
% slip = 3.0/100 % 0.0200

fprintf('\n\n'); disp('*** SOLUTION STARTS here for multiple
slips *** ')
%=====
% (4a) = Synchronous Angular Speed (rpm & rad/s)
%=====
%=== Synchronous speed RPM
disp('=== Nsync = Synchronous speed RPM ')
Nsync = 120*f_el/machine_poles %
```

```

%==== Synchron speed rad/s
disp('=== Wsync = Synchronous speed rad/s      ')
Wsync = Nsync*(2*pi/60) %

s= (0:1:50)/50 ; % slip
s(1) = 0.001 ;
Wm = (1-s)*Wsync; % Vector !!!

for ii = 1:51 % ii = count_torque
% disp('*** Press any key to proceed with Q#1 = Istat phasor
' ); pause

%=== Z1 = CONSTANT
Z1 = R1 + j*X1 % CONSTANT
%=== Zf
disp('==== Zf ==== ')
Ztemp1 = j*Xm/2 ; % 0.0000 +34.0000i
Ztemp2(ii) = 0.5*(R2/s(ii) + j*X2); % slip-depend
Zf(ii) = Ztemp1*Ztemp2(ii) / ( Ztemp1 +Ztemp2(ii) ) % slip-
depend
Rf(ii) = real(Zf(ii)) % slip-depend

%=== Zb
disp('==== Zb ==== ')
Ztemp3 = j*Xm/2 ; % 0.0000 +34.0000i
Ztemp4(ii) = 0.5*(R2/(2 - s(ii)) + j*X2) ; % slip-depend
Zb(ii) = Ztemp3*Ztemp4(ii) / ( Ztemp3 +Ztemp4(ii) ) % slip-
depend
disp('==== Zb_polar ===== ')
Zb_mag(ii) = abs(Zb(ii)) ; Zb_angle_deg(ii) =
angle(Zb(ii))*rad2deg ;
Rb(ii) = real(Zb(ii))

disp('==== Ztot = Z1 + Zf + Zb ==== ')
Ztot(ii) = Z1 + Zf(ii) + Zb(ii) % slip-depend
disp('==== Ztot_polar ===== ')
Ztot_mag(ii) = abs(Ztot(ii)) ; Ztot_angle_deg(ii) =
angle(Ztot(ii))*rad2deg ;

%=====
% (1) phasor I1 = Istator _phasor
%=====
disp('==== phasor I1 = Istator (Line) ===== ')
I1_phasor(ii) = V_phase/Ztot(ii) %
% disp('==== Istat_polar ===== ')
% disp('Istat magnitude = '); disp( abs(I1_phasor) ) % 3.3514
% disp('Istatarg (deg) = '); disp( angle(I1_phasor)*rad2deg )
% -63.3466

%=====
% (2) Power_Factor(PF)
%=====
% disp('*** Press any key to proceed with Q#2 =
Power_Factor(PF) '); pause
PF(ii) = cos( angle(I1_phasor(ii)) ) % 0.4486

```

```

%=====
% (3) Power
%=====
% disp('*** Press any key to proceed with Q#3 = Power Output '
); pause
disp('==== Pconv = (1 - slip)*I1^1*(Rf - Rb)  ')
Pconv(ii) = (1 - s(ii))*(abs(I1_phasor(ii)))^2*(Rf(ii) -
Rb(ii)) %
disp('==== Pout = Pconv - P_FW -Pmisc = Pconv - Prot_loss ')
Pout(ii) = Pconv(ii) - Pcore - Pfw ;

% disp('*** Press any key to proceed with Q#4 = Torque_Ind '
); pause
%=====
%          torque induced + torque_m2load = Pout / Wm
%=====
T_ind(ii) = Pconv(ii) / ( (1 - s(ii))*Wsync ) %
T_motor2load(ii) = Pout(ii)./( (1 - s(ii))*Wsync ) %

%=====
% (5) Pin & Efficiency
%=====
Pin(ii) = V_phase_mag*abs(I1_phasor(ii))*PF(ii) %

disp('==== Efficiency eta(ii) = Pout(ii)/Pin(ii) ')
eta(ii) = (Pout(ii)./Pin(ii))*100 ; %    54.4783

end

figure(1)
%== plot the torque - speed curve
plot(Wm, T_ind, 'r','LineWidth',2.0 ) % plot(Wm, Tind1,
'Color','r','LineWidth',2.0 )
grid on
title('(ASPETE 2020) 1ph Induction Motor torque-speed curve
(f=50Hz)','Fontweight','Bold')
xlabel('$\omega_{m}$~[rad/s]', 'Interpreter','latex',
'FontName', 'Times New Roman','fontsize',12') %
xlabel('\omega_{m} [rad/s]', 'Fontweight', 'Bold')
ylabel('$\tau_{ind}$~[Nm]', 'Interpreter','latex', 'FontName',
'Times New Roman','fontsize',12') % ylabel('\tau_{ind} [Nm]',
'Fontweight', 'Bold')
%----- print -depsc
print -depscSinglePhaseIndMotor_Torque %.esp.
print -djpeg -r600 SinglePhaseIndMotor_Torque

figure(2)
%== plot the torque - speed curve
plot(Wm, PF, 'r','LineWidth',2.0 ) % plot(Wm, Tind1,
'Color','r','LineWidth',2.0 )
grid on
title('(ASPETE 2020) 1ph Induction Motor PF-speed curve
(f=50Hz)','Fontweight','Bold')

```

```

xlabel('\omega_{m}$~[rad/s]', 'Interpreter','latex',
'FontName', 'Times New Roman','fontsize',12') %
xlabel('\omega_{m} [rad/s]', 'Fontweight', 'Bold')
% ylabel('\tau_{ind}$~[Nm]', 'Interpreter','latex',
'FontName', 'Times New Roman','fontsize',12') %
ylabel('\tau_{ind} [Nm]', 'Fontweight', 'Bold')
ylabel('PF', 'Interpreter','latex', 'FontName', 'Times New
Roman','fontsize',12')
%----- print      -depsc
print -depscSinglePhaseIndMotor_PF  %.esp.
print -djpeg -r600      SinglePhaseIndMotor_PF

figure(3)
disp('unexpected negative results must be cropped')
[rowssizeWm] = size(Wm)
crop= 5
Wm_crop= Wm(crop:sizeWm);
eta_crop = eta(crop:sizeWm);

%== plot the ETA - speed curve
plot(Wm_crop, eta_crop, 'r','LineWidth',2.0 ) % plot(Wm,
Tindl, 'Color','r','LineWidth',2.0 )
grid on
title('(ASPETE 2020) 1ph Ind. Motor efficiency-speed curve
(f=50Hz)','Fontweight','Bold')
xlabel('\omega_{m}$~[rad/s]', 'Interpreter','latex',
'FontName', 'Times New Roman','fontsize',12') %
xlabel('\omega_{m} [rad/s]', 'Fontweight', 'Bold')
ylabel('\eta$~[\%]', 'Interpreter','latex', 'FontName',
'Times New Roman','fontsize',12') % ylabel('\tau_{ind} [Nm]',
'Fontweight', 'Bold')
%----- print      -depsc
print -depscSinglePhaseIndMotor_Eta  %.esp.
print -djpeg -r600      SinglePhaseIndMotor_Eta

f_el
DataSet
return

disp('*** Press any key to proceed with Q#5 = eta '); pause

% disp(' ===== ')
% %=== EQUIV CIRCUIT
% R1 = 2.0 ;
% R2 = 4.0 ;
% X1 = 2.0 ;
% X2 = 4.0 ;
% Xm = 50.0 ;
% %==== Pcore, Pfw
% Pcore = 10
% Pfw = 10
% %=== slip
% slip = 3.0/100 % 0.0200

%== end ===

```

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[1] Stephen J. Chapman, “Ηλ.Μηχ.AC-DC”, Εκδόσεις Τζιόλα 2010

[2] Παντελής Μαλατέστας, “Ηλ.Μηχ. 2<sup>η</sup> Έκδοση”, Εκδόσεις Τζιόλα 2013

[3] Ε. Παπαδόπουλος – Σημειώσεις για το Μάθημα «Ηλεκτρομηχανικά Συστήματα Μετατροπής Ενέργειας» (Τμήμα Μηχανολόγων Μηχ. ΕΜΠ)