

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Το κανονικό εύρος λειτουργίας ενός τυπικού επαγωγικού κινητήρα (κλάσης A, B και C) περιορίζεται κάτω από 5% για την ολίσθηση ενώ η μεταβολή της ταχύτητας πέρα από αυτό το εύρος είναι σχεδόν ανάλογη του φορτίου που εφαρμόζεται
- Ακόμη και αν η ολίσθηση έπαιρνε μεγαλύτερη τιμή, η απόδοση θα έπεφτε πολύ χαμηλά αφού οι απώλειες χαλκού στο δρομέα είναι ανάλογες με την ολίσθηση
- Δύο είναι οι τεχνικές ρύθμισης της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων. Στην πρώτη μεταβάλλεται η σύγχρονη ταχύτητα που είναι η ταχύτητα περιστροφής των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα, αφού η ταχύτητα του άξονα παραμένει πάντα κοντά στη σύγχρονη ταχύτητα
- Στη δεύτερη μεταβάλλεται η ολίσθηση του κινητήρα για ένα δεδομένο φορτίο

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Η σύγχρονη ταχύτητα του επαγωγικού κινητήρα δίνεται από

$$n_{sync} = \frac{120 f_e}{P}$$

- Και έτσι γίνεται προφανές πως οι μόνοι τρόποι μεταβολής της σύγχρονης ταχύτητας είναι:

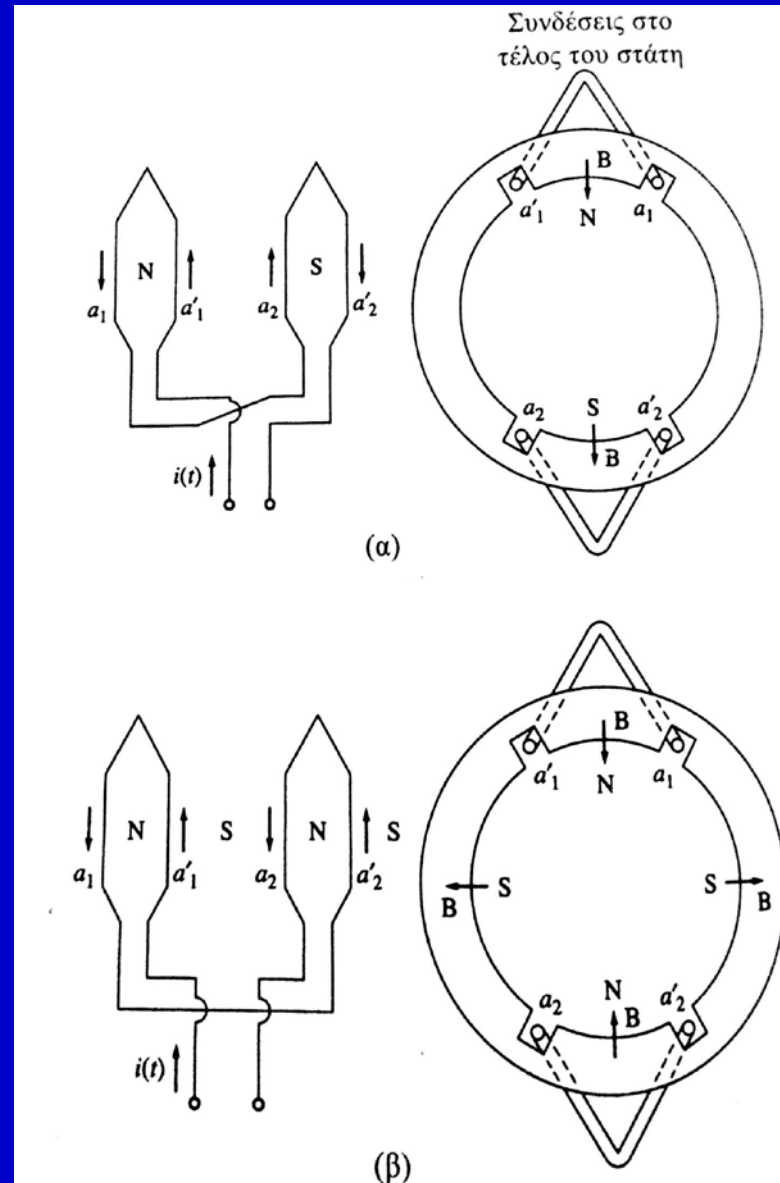
1. Η ρύθμιση της ηλεκτρικής συχνότητας
2. Η μεταβολή του αριθμού των πόλων της μηχανής

- Ο έλεγχος της ολίσθησης πραγματοποιείται με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα είτε μέσω της τάσης εισόδου του κινητήρα

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Υπάρχουν 2 βασικές μέθοδοι αλλαγής του αριθμού των πόλων ενός επαγωγικού κινητήρα:
 1. Η μέθοδος των διαδοχικών πόλων
 2. Πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη
- Η μέθοδος των διαδοχικών πόλων είναι μια παλιά μέθοδος ελέγχου της ταχύτητας που αρχικά αναπτύχθηκε το 1897
- Στηρίζεται στο γεγονός ότι ο αριθμός πόλων του τυλίγματος στο στάτη ενός επαγωγικού κινητήρα είναι εύκολο να μεταβληθεί με ένα παράγοντα 2 προς 1 με κάποιες απλές αλλαγές στις συνδέσεις των συστάδων
- Ας σημειωθεί ότι οι ξεχωριστές συστάδες παρουσιάζουν πολύ μικρό βήμα (60 ως 90 μοίρες)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ



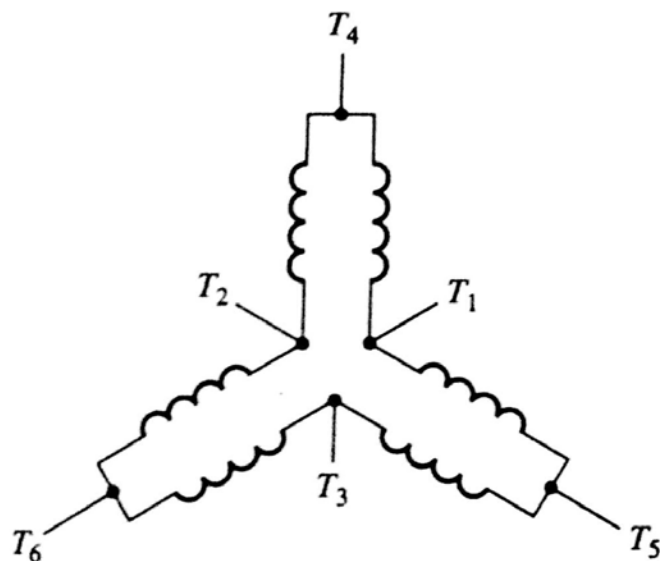
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Στο προηγούμενο σχήμα φαίνονται τα ρεύματα στη φάση α του τυλίγματος σε κάποια χρονική στιγμή της κανονικής λειτουργίας
- Οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου εξέρχονται από το στάτη στην επάνω ομάδα φάσης (βόρειος πόλος) και εισέρχονται στο στάτη στην κάτω ομάδα φάσης (νότιος πόλος). Έτσι αυτό το τύλιγμα παράγει 2 πόλους στο στάτη
- Ας υποθεθεί τώρα ότι η κατεύθυνση του ρεύματος στην κάτω ομάδα φάσης του στάτη αντιστρέφεται
- Τότε οι γραμμές του πεδίου θα εξέρχονται από το στάτη και στην επάνω και στην κάτω ομάδα φάσης- κάθε ομάδα παράγει ένα βόρειο μαγνητικό πόλο

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

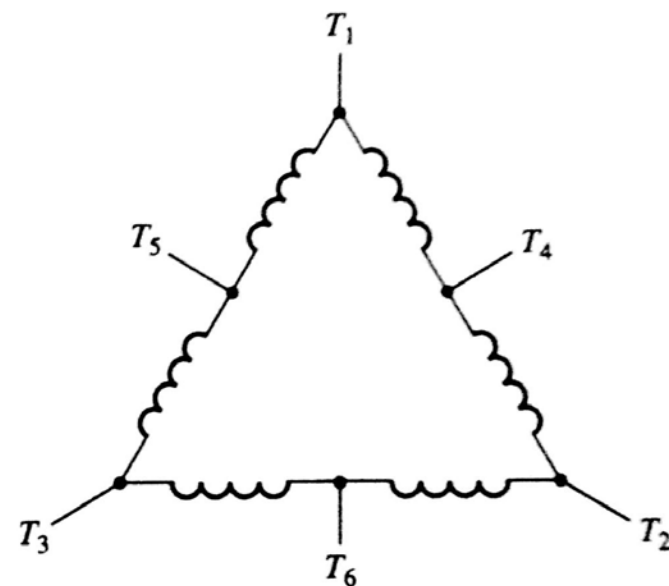
- Η μαγνητική ροή θα πρέπει να επιστρέφει στο στάτη ανάμεσα από τις 2 ομάδες φάσης δημιουργώντας ένα ζεύγος διαδοχικών νότιων μαγνητικών πόλων. Εδώ φαίνεται ότι ο στάτης διαθέτει πια 4 μαγνητικούς πόλους
- Ο δρομέας ενός τέτοιου κινητήρα είναι βραχυκυκλωμένου κλωβού, επειδή σε αυτό το δρομέα επάγονται πάντα τόσοι πόλοι όσοι ακριβώς παρουσιάζονται στο στάτη και έτσι μπορεί να προσαρμόζεται κάθε φορά που ο αριθμός των πόλων μεταβάλλεται
- Όταν η συνδεσμολογία του κινητήρα μεταβάλλεται και οι πόλοι του από 2 γίνονται 4, η μέγιστη ροπή του μπορεί να παραμείνει η ίδια (συνδεσμολογία σταθερής ροπής) ή να διπλασιαστεί (συνδεσμολογία σταθερής ισχύος εξόδου) ανάλογα με τον τρόπο που αναδιοργανώνονται τα τυλίγματα του στάτη

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ



Ταχύτητα	Γραμμές			
	L_1	L_2	L_3	
Χαμηλή	T_1	T_2	T_3	T_4, T_5, T_6 ανοιχτά
Υψηλή	T_4	T_5	T_6	$T_1 - T_2 - T_3$ συνδεδεμένα μεταξύ τους

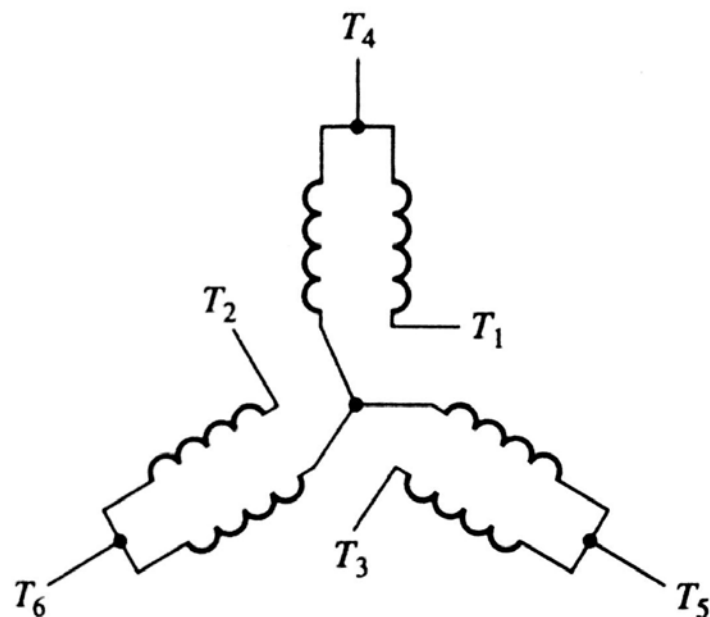
(α)



Ταχύτητα	Γραμμές			
	L_1	L_2	L_3	
Χαμηλή	T_4	T_5	T_6	$T_1 - T_2 - T_3$ συνδεδεμένα μεταξύ τους
Υψηλή	T_1	T_2	T_3	T_4, T_5, T_6 ανοιχτά

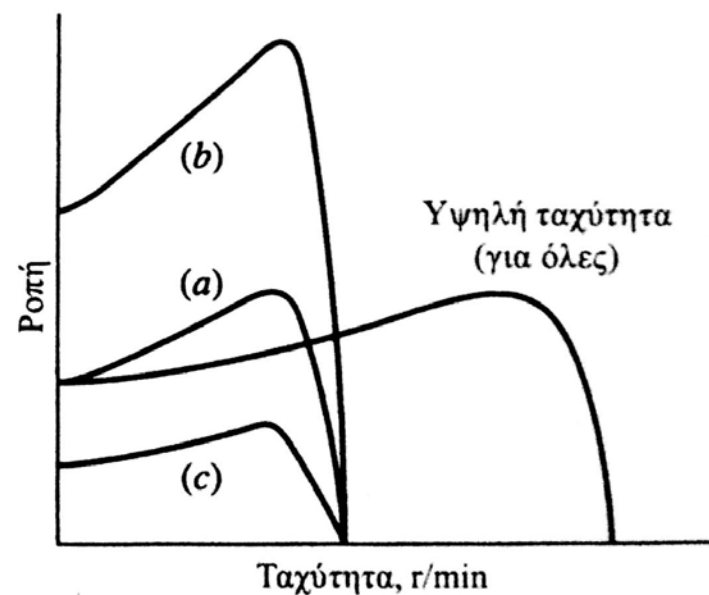
(β)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ



Ταχύτητα	Γραμμές			
	L_1	L_2	L_3	
Χαμηλή	T_1	T_2	T_3	T_4, T_5, T_6 ανοιχτά
Υψηλή	T_4	T_5	T_6	$T_1 - T_2 - T_3$ συνδεδεμένα μεταξύ τους

(γ)



(δ)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

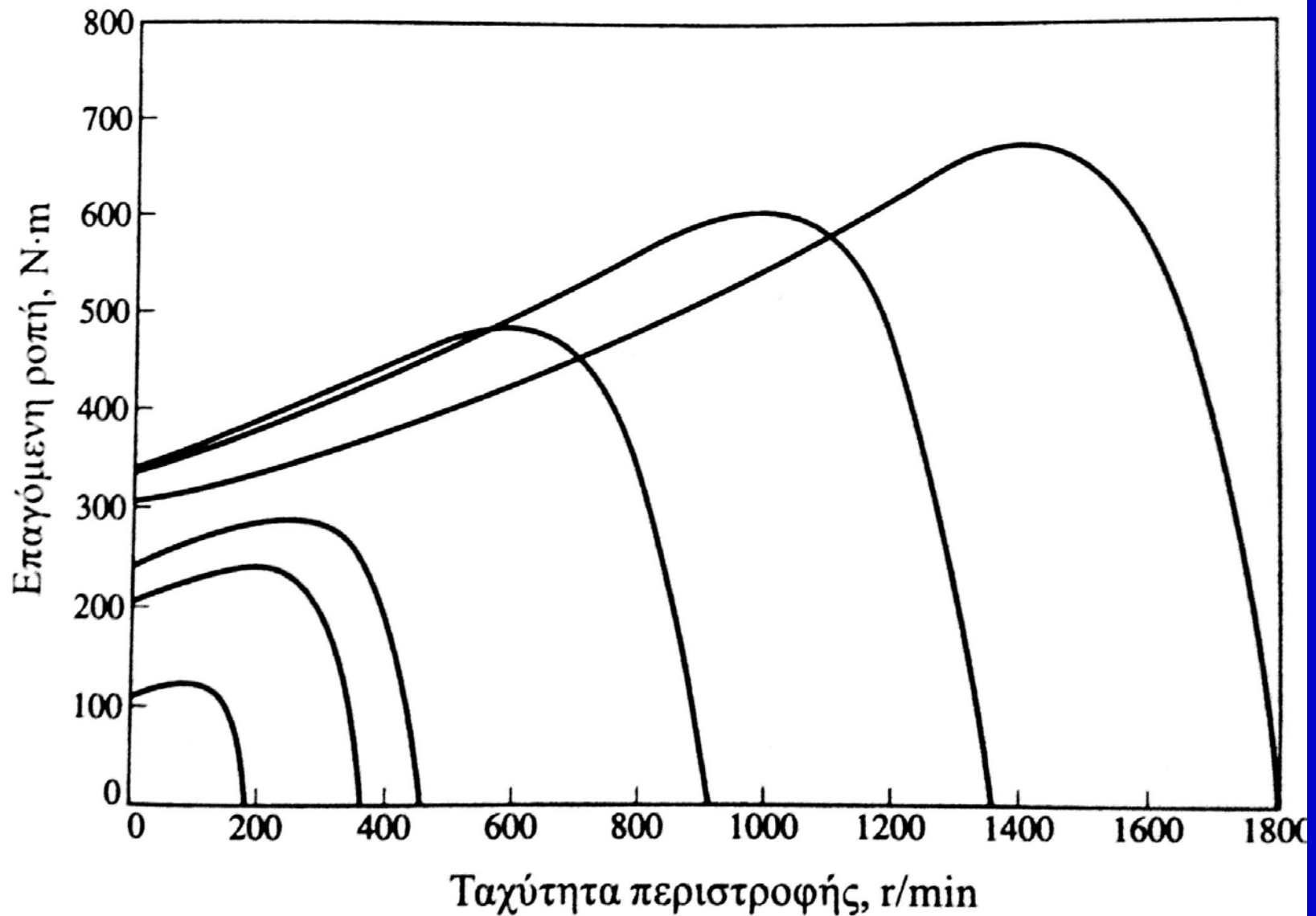
- Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου μεταβολής της ταχύτητας με διαδοχικούς πόλους είναι ότι οι ταχύτητες θα πρέπει να έχουν λόγο 2 προς 1
- Ο παραδοσιακός τρόπος υπέρβασης αυτού του περιορισμού είναι η εισαγωγή πολλαπλών τυλιγμάτων στο στάτη με διαφορετικό αριθμό πόλων το καθένα και η ενεργοποίηση ενός από αυτά κάθε φορά
- Για παράδειγμα, ένας κινητήρας μπορεί να διαθέτει 4 ομάδες τυλιγμάτων στο στάτη με 4 και 6 πόλους η καθεμιά
- Έτσι η σύγχρονη ταχύτητα του σε ένα σύστημα ισχύος των 60 Hz μπορεί να μεταβάλλεται από τις 1800 rpm ως τις 1200 rpm με την απλή σύνδεση μιας ή της άλλης ομάδας τυλιγμάτων
- Δυστυχώς τα πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη αυξάνουν το κόστος του κινητήρα και χρησιμοποιούνται μόνο όταν είναι τελείως απαραίτητα

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

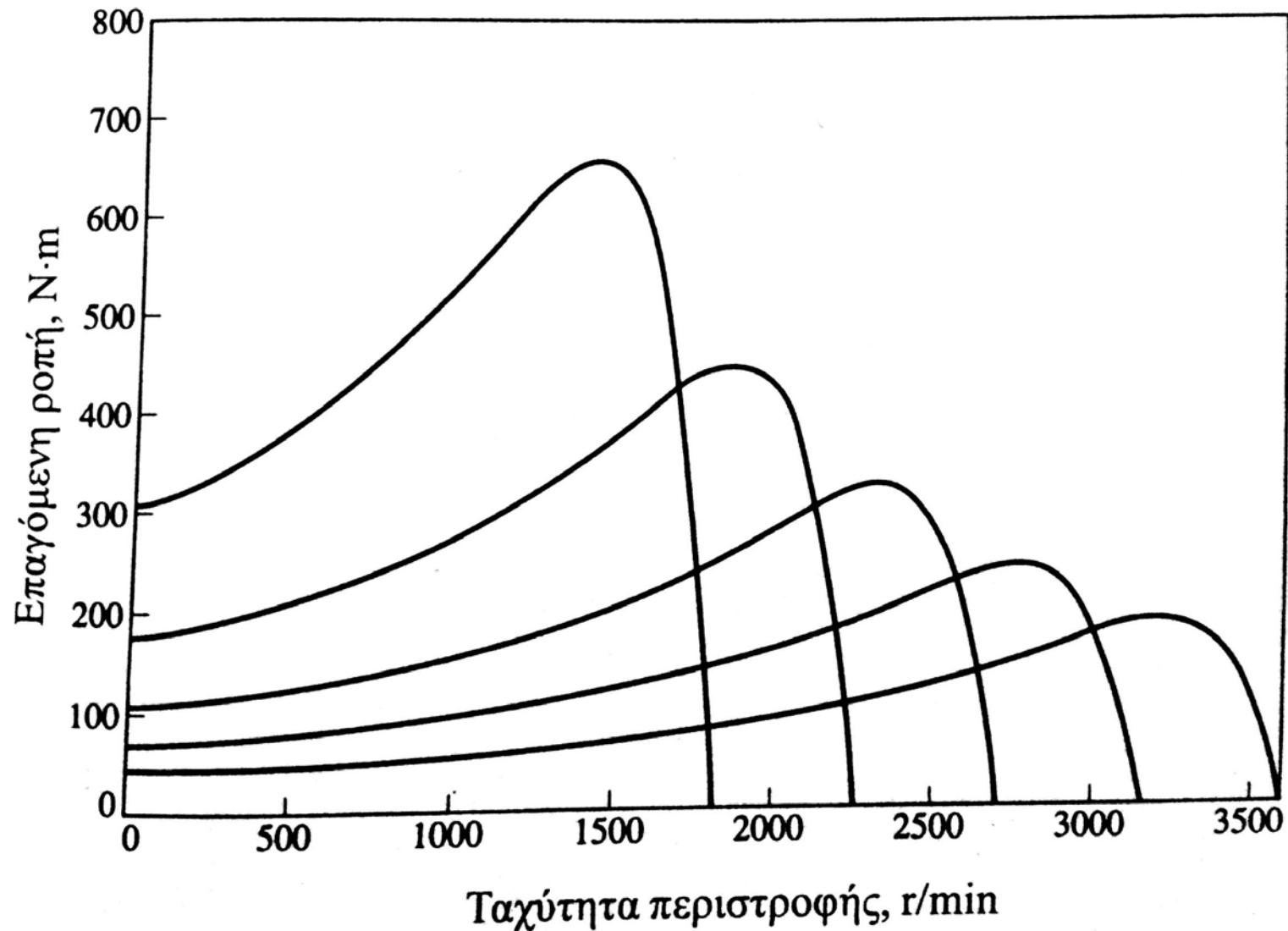
- Με το συνδυασμό της μεθόδου των διαδοχικών πόλων και της μεθόδου των πολλαπλών τυλίγμάτων είναι δυνατό να κατασκευαστεί ένας κινητήρας 4 ταχυτήτων
- Για παράδειγμα με 2 ξεχωριστά τυλίγματα 4 και 6 πόλων είναι δυνατό να κατασκευαστεί ένας επαγωγικός κινητήρας που στα 60 Hz θα μπορεί να περιστρέφεται με ταχύτητες 600, 900, 1200 και 1800 rpm

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

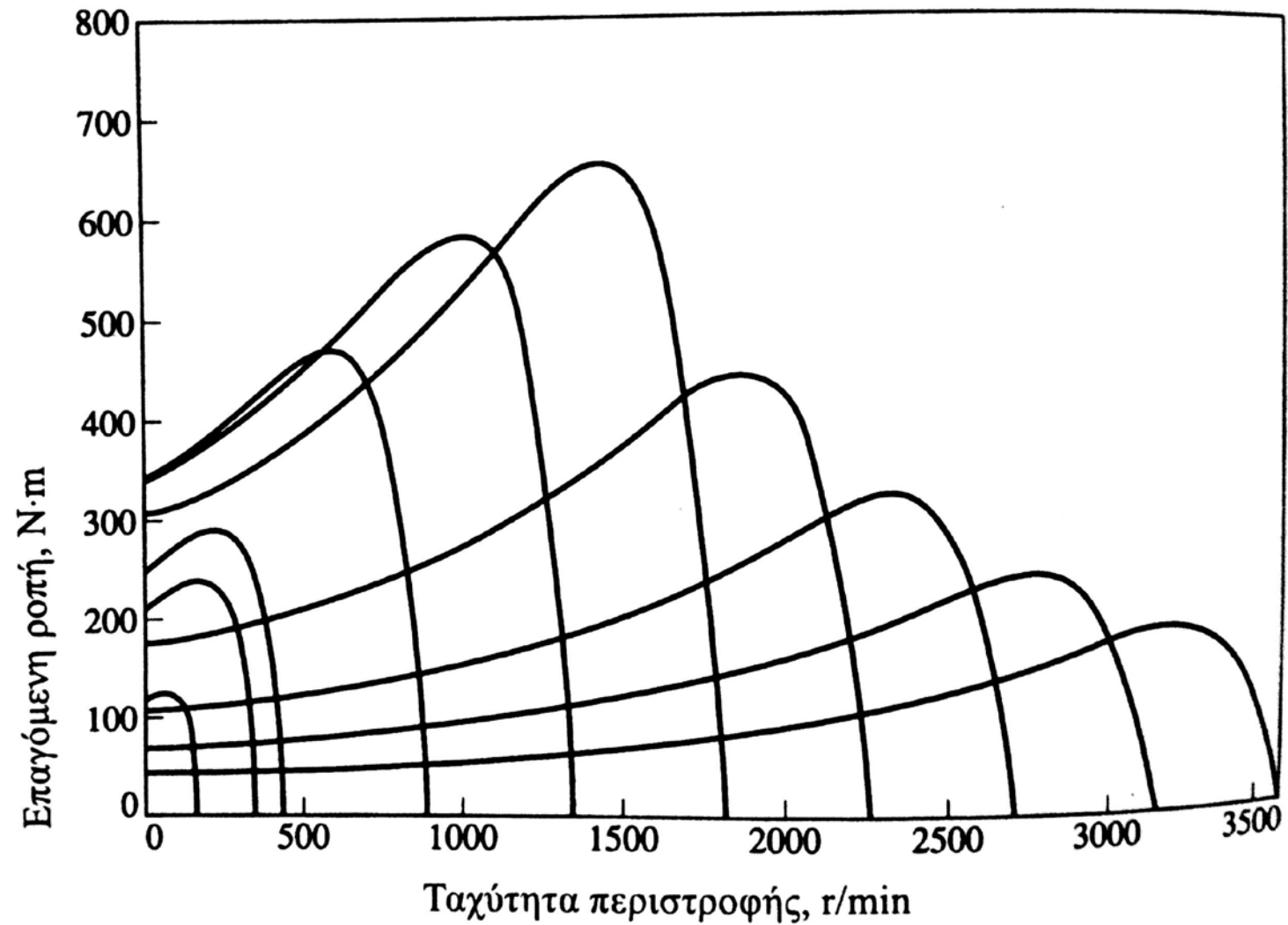
- Αν η συχνότητα που εφαρμόζεται στο στάτη ενός επαγωγικού κινητήρα μεταβληθεί, ο ρυθμός περιστροφής των μαγνητικών του πεδίων μεταβάλλεται ανάλογα με τη μεταβολή της ηλεκτρικής συχνότητας, ενώ το σημείο λειτουργίας χωρίς φορτίο στην καμπύλη ροπής-ταχύτητας μεταβάλλεται επίσης
- Η σύγχρονη ταχύτητα στις ονομαστικές συνθήκες είναι γνωστή ως βασική ταχύτητα. Με τον έλεγχο μεταβλητής συχνότητας η ταχύτητα του κινητήρα είναι δυνατό να ρυθμίζεται πάνω και κάτω από τη βασική
- Μια προσεκτικά σχεδιασμένη διάταξη οδήγησης επαγωγικού κινητήρα με μεταβλητή συχνότητα μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευέλικτη. Η ρύθμιση της ταχύτητας μπορεί να ξεκινά από ένα μικρό εύρος τιμών 5% της βασικής ταχύτητας και να φθάνει σε τιμές διπλάσιες της βασικής ταχύτητας
- Όμως είναι σημαντικό να καθοριστούν κάποια όρια για την τάση και τη ροπή κατά τη μεταβολή της ταχύτητας ώστε η λειτουργία να είναι ασφαλής



ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ



ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ



ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Όταν ο κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητες μικρότερες της βασικής θα πρέπει η τάση που εφαρμόζεται στο στάτη του κινητήρα να περιορίζεται με σκοπό να είναι ασφαλής η λειτουργία του
- Η τάση εισόδου στο στάτη θα πρέπει να μειώνεται γραμμικά με τη μείωση της συχνότητας. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται υποβιβασμός της τάσης
- Αν δεν ακολουθείται αυτή η διαδικασία ο χάλυβας του στάτη οδηγείται σε κορεσμό και το ρεύμα μαγνήτισης του κινητήρα μπορεί να πάρει εξαιρετικά μεγάλες τιμές
- Όπως και σε κάθε Μ/Σ η μαγνητική ροή στον πυρήνα ενός επαγωγικού κινητήρα υπολογίζεται από το νόμο του Faraday

$$v(t) = -N \frac{d\varphi}{dt}$$

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Αν εφαρμοστεί στον πυρήνα τάση $v(t) = V_m \sin \omega t$ τότε η μαγνητική ροή φ προκύπτει

$$\varphi(t) = \frac{1}{N_p} \int v(t) dt = \frac{1}{N_p} \int V_M \sin \omega t dt$$

$$\varphi(t) = -\frac{V_M}{\omega N_p} \cos \omega t$$

- Με βάση το ότι η ηλεκτρική συχνότητα ω εμφανίζεται στον παρανομαστή της παραπάνω έκφρασης, αν η ηλεκτρική συχνότητα που εφαρμόζεται στο στάτη μειωθεί κατά 10% και το πλάτος της τάσης παραμείνει σταθερό τότε η μαγνητική ροή στον πυρήνα του κινητήρα αυξάνεται περίπου 10% ενώ το ρεύμα μαγνήτισης αυξάνεται επίσης
- Στην ακόρεστη περιοχή της καμπύλης μαγνήτισης του κινητήρα η αύξηση του ρεύματος μαγνήτισης θα είναι και αυτή περίπου 10%

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Όμως στην ακόρεστη περιοχή της καμπύλης μαγνήτισης η αύξηση της μαγνητικής ροής κατά 10% απαιτεί πολύ μεγαλύτερη αύξηση του ρεύματος μαγνήτισης
- Οι επαγωγικοί κινητήρες συνήθως κατασκευάζονται σε σκοπό να λειτουργούν κοντά στο σημείο κορεσμού της καμπύλης μαγνήτισης και έτσι η αύξηση της μαγνητικής ροής που οφείλεται στη μείωση της συχνότητας προκαλεί σοβαρή αύξηση στο ρεύμα μαγνήτισης
- Πολύ συχνά η τάση που εφαρμόζεται στο στάτη ελαττώνεται σε ποσοστό ανάλογο με τη μείωση της συχνότητας με σκοπό την αποφυγή των εξαιρετικά μεγάλων ρευμάτων μαγνήτισης, κάθε φορά που η συχνότητα μειώνεται κάτω από την ονομαστική της τιμή
- Έτσι το ρεύμα μαγνήτισης παραμένει ανεπηρέαστο

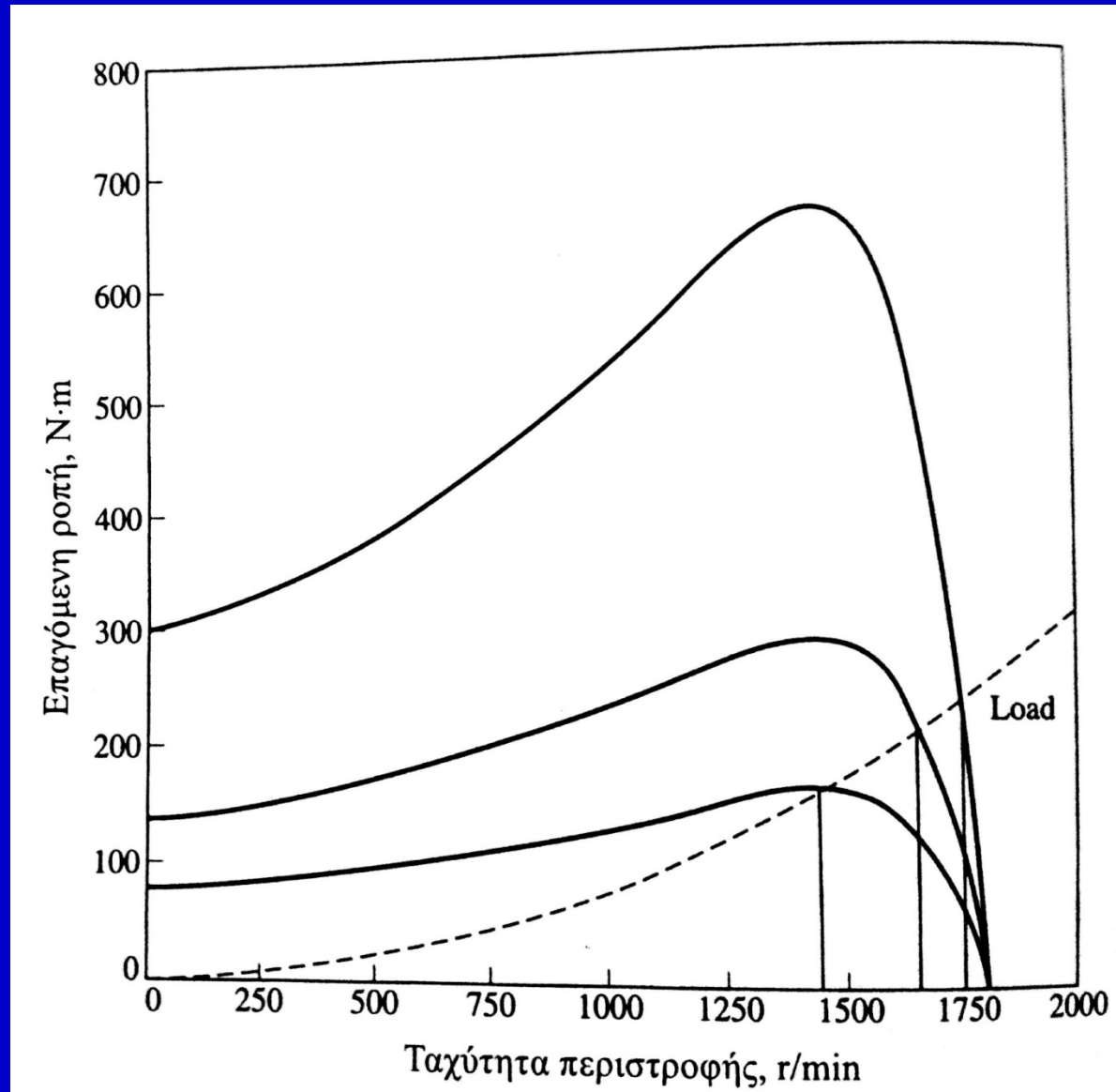
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Στο παρελθόν το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου μεταβολής της ταχύτητας του κινητήρα με ρύθμιση της ηλεκτρικής συχνότητας ήταν η έλλειψη μιας ειδικής γεννήτριας με μεταβαλλόμενη συχνότητα ή ενός μηχανικού τρόπου μεταβολής της συχνότητας
- Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με την ανάπτυξη των σύγχρονων διατάξεων οδήγησης μεταβλητής συχνότητας με ηλεκτρονικούς διακόπτες
- Στην πραγματικότητα η μεταβολή της συχνότητας τροφοδοσίας με διατάξεις οδήγησης ηλεκτρονικών διακοπών έχει γίνει η πιο δημοφιλής μέθοδος ρύθμισης της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων
- Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιονδήποτε επαγωγικό κινητήρα αντίθετα από τη μέθοδο μεταβολής των πόλων που απαιτεί κινητήρες με ειδικά τυλίγματα στο στάτη

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Η ροπή που αναπτύσσει ένας επαγωγικός κινητήρας εξαρτάται από το τετράγωνο της εφαρμοζόμενης τάσης
- Αν το φορτίο του κινητήρα διαθέτει χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας όμοιας του σχήματος, η ταχύτητα του είναι δυνατό να ρυθμίζεται σε ένα περιορισμένο εύρος τιμών με τη μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας (για μικρούς κινητήρες όπως σε ανεμιστήρες)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ



ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

- Στους επαγωγικούς κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα είναι δυνατή η μεταβολή της μορφής της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας με την εισαγωγή πρόσθετων αντιστάσεων στο κύκλωμα δρομέα της μηχανής
- Σε αυτές τις περιπτώσεις η μεταβολή της αντίστασης του δρομέα μεταβάλλει την ταχύτητα λειτουργίας του κινητήρα
- Όμως η εισαγωγή πρόσθετων αντιστάσεων στο κύκλωμα δρομέα μειώνει σημαντικά την απόδοση της μηχανής
- Έτσι μια τέτοια μέθοδος μεταβολής της ταχύτητας χρησιμοποιείται μόνο για σύντομες περιόδους λόγω των προβλημάτων απόδοσης που δημιουργεί

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

