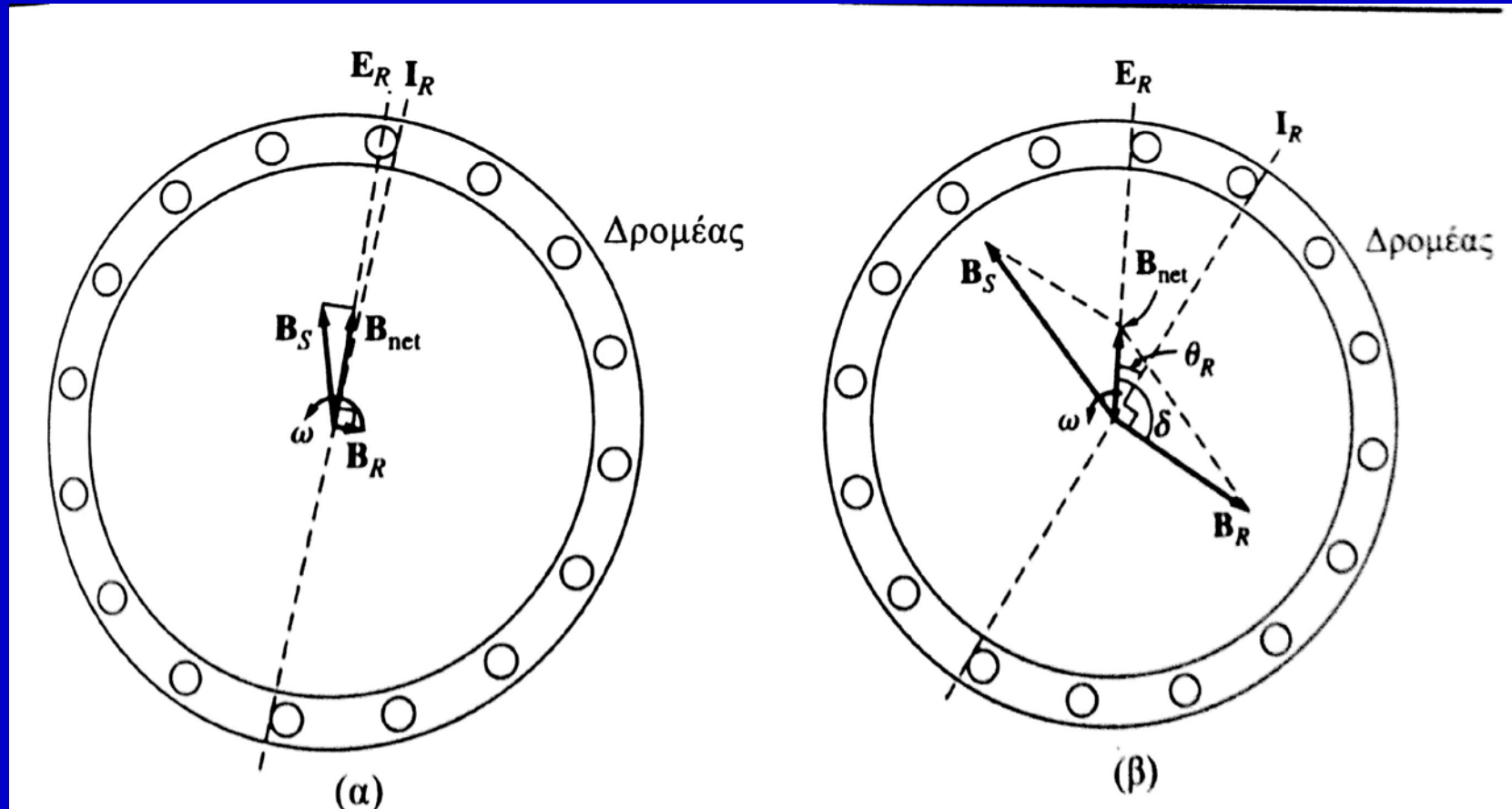


ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Αν είναι γνωστή η συμπεριφορά των μαγνητικών πεδίων στη μηχανή, είναι δυνατός ο προσεγγιστικός προσδιορισμός της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα
- Όπως είναι γνωστό η επαγόμενη ροπή στο εσωτερικό του κινητήρα δίνεται από τη σχέση:
$$\tau_{ind} = k B_R B_{net} \sin \delta$$
- Ο καθένας από τους όρους της παραπάνω εξίσωσης μπορεί να ληφθεί ξεχωριστά υπόψη ώστε να προσδιορισθεί η συνολική συμπεριφορά της μηχανής. Οι ξεχωριστοί όροι είναι:
 1. B_R , το μαγνητικό πεδίο του δρομέα είναι ανάλογο του ρεύματος στο δρομέα, όσο ο δρομέας είναι ακόρεστος. Το ρεύμα του δρομέα αυξάνεται με την αύξηση της ολίσθησης (με τη μείωση της ταχύτητας)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- B_{net} , το συνολικό μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής είναι ανάλογο της τάσης E_1 και έτσι είναι προσεγγιστικά σταθερό (στην πραγματικότητα η E_1 μειώνεται με την αύξηση του ρεύματος όμως αυτό το φαινόμενο είναι αμελητέο σε σχέση με τα άλλα δύο και αγνοείται σ' αυτή τη γραφική ανάλυση)
- $\sin\delta$, η γωνία μεταξύ των μαγνητικών πεδίων του δρομέα και του στάτη μπορεί να εκφραστεί με κάποιον πολύ βολικό τρόπο. Η γωνία δ είναι ίση με τη γωνία του συντελεστή ισχύος στο δρομέα αυξημένη κατά 90 μοίρες

$$\delta = \theta_R + 90^0$$

- Οπότε:

$$\delta = \sin(\theta_R + 90^0) = \cos\theta_R$$

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

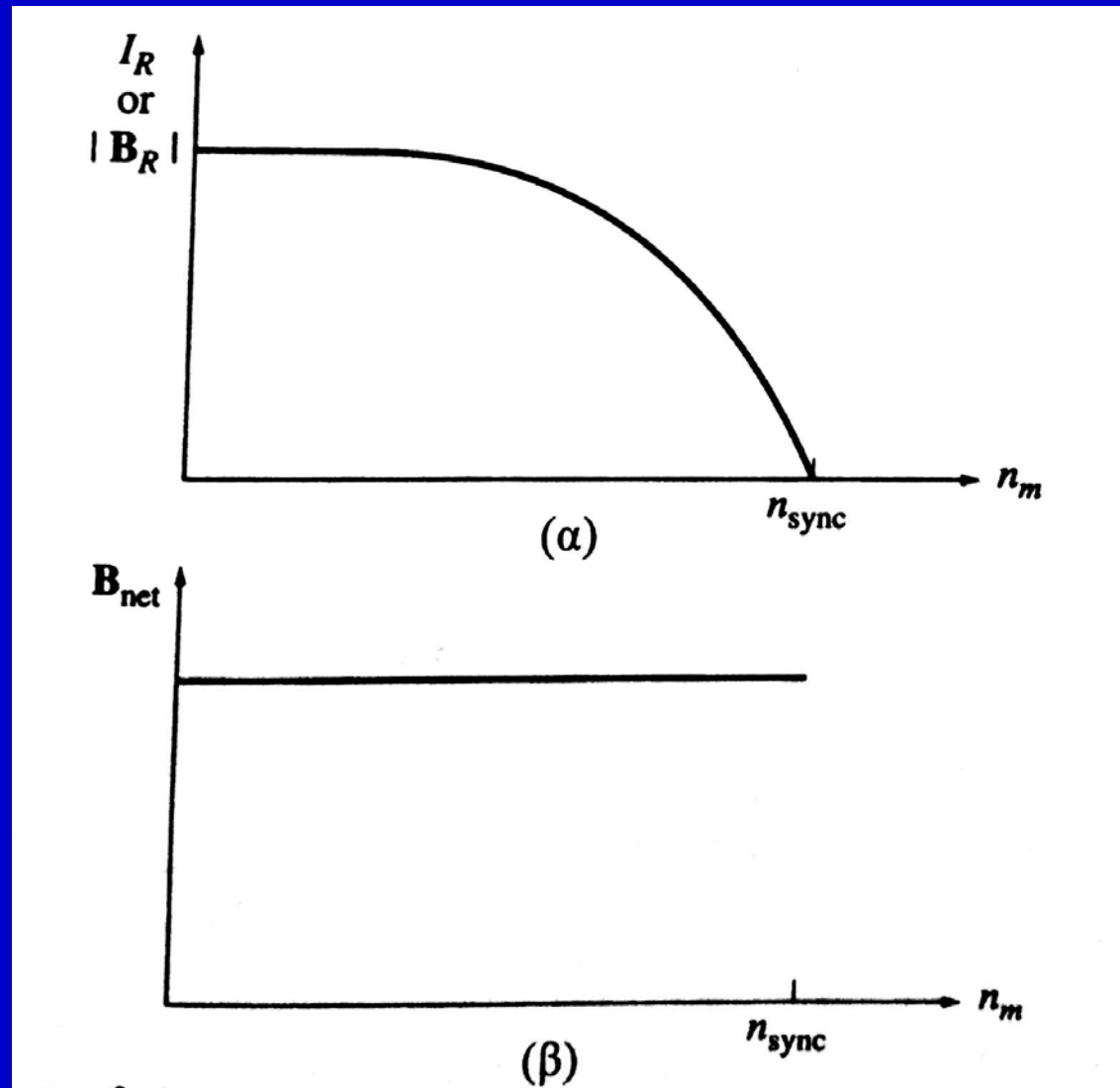
- Έτσι ο συντελεστής ισχύος του δρομέα είναι:

$$PF_R = \cos \theta_R$$

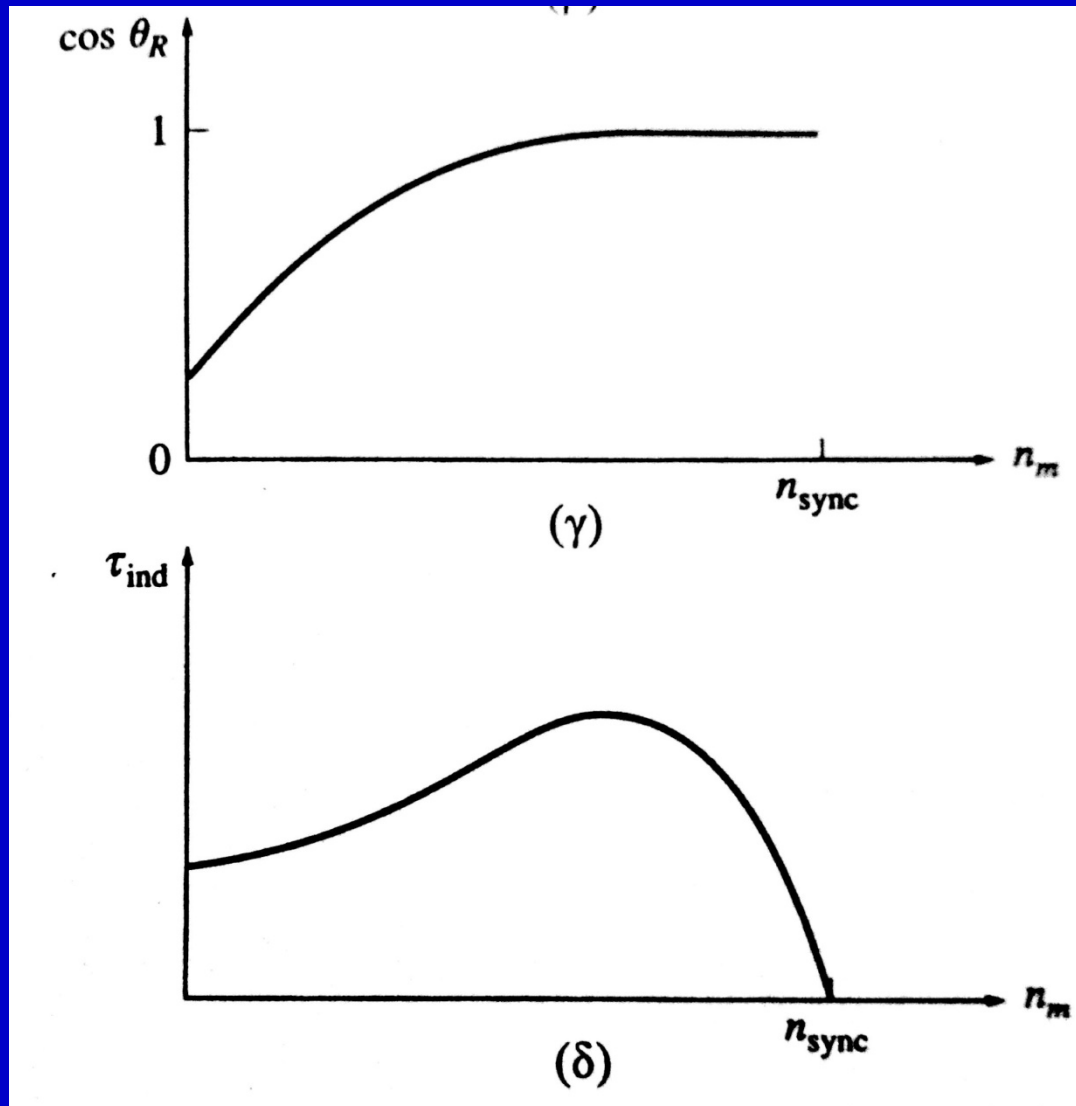
$$PF_R = \cos \left(\tan^{-1} \frac{sX_{R0}}{R_R} \right)$$

- Η επαγόμενη ροπή είναι ανάλογη των τριών παραπάνω όρων και η χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα κατασκευάζεται με γραφικό πολλαπλασιασμό των τριών ξεχωριστών καμπυλών

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Αυτή η χαρακτηριστική μπορεί να χωριστεί γενικά σε 3 περιοχές
- Η 1^η είναι η περιοχή χαμηλής ολίσθησης. Σε αυτή την περιοχή η ολίσθηση του κινητήρα αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την αύξηση του φορτίου και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα μειώνεται σχεδόν γραμμικά με το φορτίο
- Σε αυτή την περιοχή λειτουργίας, η αντίδραση του δρομέα είναι αμελητέα και έτσι ο συντελεστής ισχύος του δρομέα είναι προσεγγιστικά μοναδιαίος, ενώ το ρεύμα δρομέα αυξάνεται γραμμικά με την ολίσθηση
- Το τελικό εύρος της κανονικής ευσταθούς λειτουργίας ενός επαγωγικού κινητήρα περιλαμβάνεται σ'αυτή την περιοχή γραμμικής και χαμηλής ολίσθησης
- Έτσι στην κανονική λειτουργία ο επαγωγικός κινητήρας παρουσιάζει γραμμική πτώση της ταχύτητας του

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Η 2^η περιοχή της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα ονομάζεται περιοχή μέτριας ολίσθησης
- Στην περιοχή αυτή η συχνότητα του δρομέα είναι υψηλότερη από ότι στην προηγούμενη περιοχή, ενώ το μέτρο της αντίδρασης του δρομέα είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με την αντίσταση του
- Το ρεύμα του δρομέα δεν αυξάνεται τόσο απότομα όπως στην προηγούμενη περιοχή και ο συντελεστής ισχύος αρχίζει να μειώνεται
- Ο κινητήρας αποκτά τη μέγιστη ροπή του (ροπή ανατροπής) στο σημείο όπου για μια σημαντική αύξηση του φορτίου η αύξηση του ρεύματος εξουδετερώνεται από τη μείωση του συντελεστή ισχύος στο δρομέα

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Η 3^η περιοχή της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα ονομάζεται περιοχή υψηλής ολίσθησης
- Σε αυτή την περιοχή η επαγόμενη ροπή μειώνεται με την αύξηση του φορτίου καθώς η αύξηση του ρεύματος στο δρομέα επικαλύπτεται από τη μείωση του συντελεστή ισχύος στο δρομέα
- Σε ένα τυπικό επαγωγικό κινητήρα, η ροπή ανατροπής είναι ίση με το 200 έως 250% της ονομαστικής ροπής της μηχανής κατά την πλήρη φόρτιση
- Ακόμη η ροπή εκκίνησης (ροπή που αντιστοιχεί σε μηδενική ταχύτητα) είναι περίπου ίση με 150% της ονομαστικής ροπής στην πλήρη φόρτιση

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός επαγωγικού κινητήρα και το διάγραμμα ροής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή της γενικής εξίσωσης που δίνει τη σχέση της επαγόμενης ροπής του κινητήρα με την ταχύτητα περιστροφής του

- Η επαγόμενη ροπή δίνεται από:

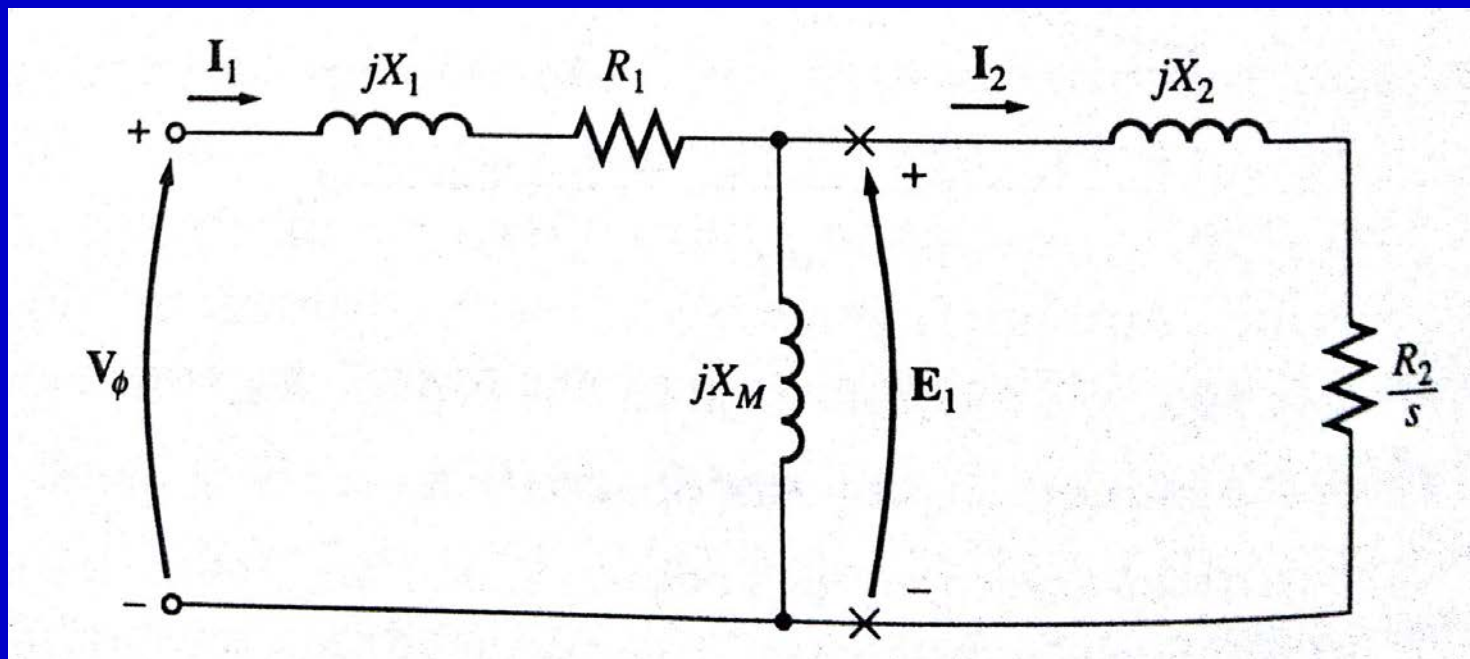
$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m}$$

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

- Η τελευταία εξίσωση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη αφού η σύγχρονη ταχύτητα είναι σταθερή για μια δεδομένη συχνότητα και για συγκεκριμένο αριθμό πόλων. Με την ω_{sync} σταθερή, η επαγόμενη ροπή υπολογίζεται αν είναι γνωστή η ισχύς διακένου

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Η ισχύς διακένου είναι η ισχύς που διέρχεται από το κύκλωμα του στάτη στο κύκλωμα του δρομέα μέσω του διακένου
- Αυτή η ισχύς είναι ίση με την ισχύ που απορροφάται στην αντίσταση R_2/s



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Στο προηγούμενο κύκλωμα η ισχύς διακένου που προσφέρεται στη μια φάση του κινητήρα θεωρείται ότι είναι:

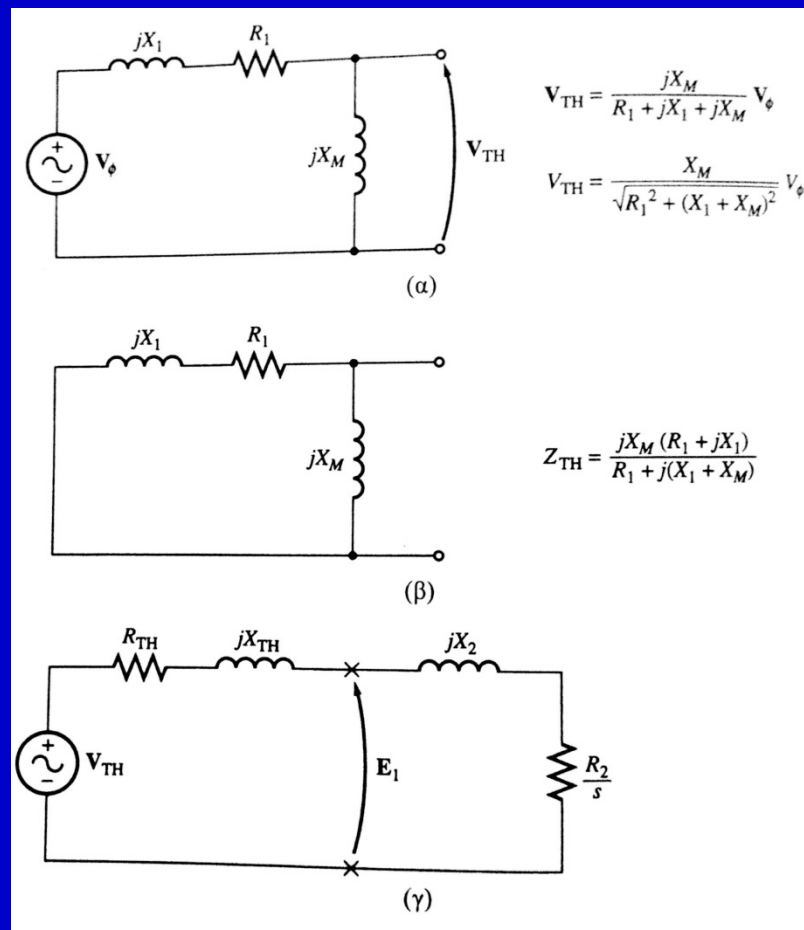
$$P_{AG,1\varphi} = I_2^2 \frac{R_2}{s}$$

$$P_{AG} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}$$

- Αν προσδιορισθεί το ρεύμα I_2 η ισχύς διακένου και η επαγόμενη ροπή θα έχουν προσδιορισθεί πλήρως
- Ο πιο εύκολος τρόπος είναι μέσω του προσδιορισμού του ισδύναμου Thevenin για το τμήμα του κυκλώματος που βρίσκεται αριστερά των σημείων που έχουν σημειωθεί με X στο σχήμα

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Σύμφωνα με το θεώρημα Thevenin κάθε γραμμικό κύκλωμα που μπορεί να χωριστεί σε 2 σημεία από το υπόλοιπο σύστημα, είναι δυνατό να αντικατασταθεί από μία πηγή τάσης σε σειρά με μία σύνθετη αντίσταση



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Το ρεύμα I_2 υπολογίζεται τελικά:

$$I_2 = \frac{V_{TH}}{Z_{TH} + Z_2} = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_2/s + jX_{TH} + jX_2}$$

- Το μέτρο του ρεύματος είναι:

$$I_2 = \frac{V_{TH}}{\sqrt{(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2}}$$

- Η ισχύς διακένου δίνεται από: $P_{AG} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}$

- Και η επαγόμενη ροπή θα είναι:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}} = \frac{3V_{TH}^2 R_2/s}{\omega_{sync} \left[(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2 \right]}$$

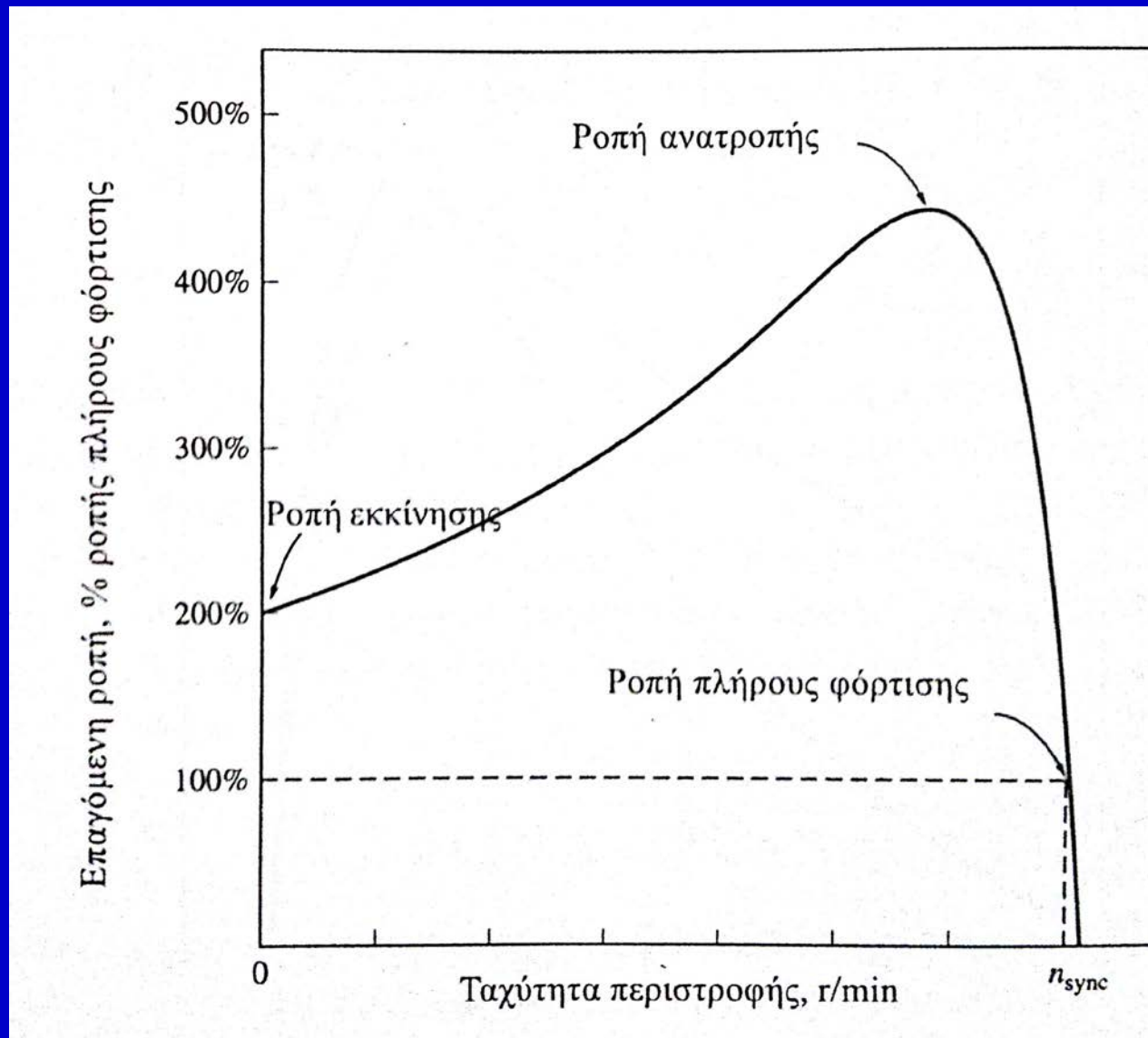
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

1. Η επαγόμενη ροπή του επαγωγικού κινητήρα είναι ίση με μηδέν στη σύγχρονη ταχύτητα
2. Μεταξύ των σημείων λειτουργίας χωρίς φορτίο και υπό πλήρες φορτίο η καμπύλη ροπής-ταχύτητας είναι σχεδόν γραμμική. Σ' αυτή την περιοχή η αντίσταση του δρομέα είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίδραση του και έτσι το ρεύμα του δρομέα, το μαγνητικό πεδίο του δρομέα και η επαγόμενη ροπή αυξάνονται γραμμικά με την αύξηση της ολίσθησης
3. Υπάρχει μια μέγιστη επιτρεπτή ροπή που είναι αδύνατο να ξεπεραστεί. Αυτή η ροπή ονομάζεται ροπή ανατροπής ή ροπή κατάρρευσης και είναι 2-3 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή του κινητήρα κατά την πλήρη φόρτιση
4. Η ροπή εκκίνησης είναι λίγο μεγαλύτερη από τη ροπή κατά την πλήρη φόρτιση. Έτσι ο επαγωγικός κινητήρας μπορεί να ξεκινήσει με οποιαδήποτε από τα φορτία που είναι ικανός να κινήσει στη λειτουργία υπό πλήρη ισχύ

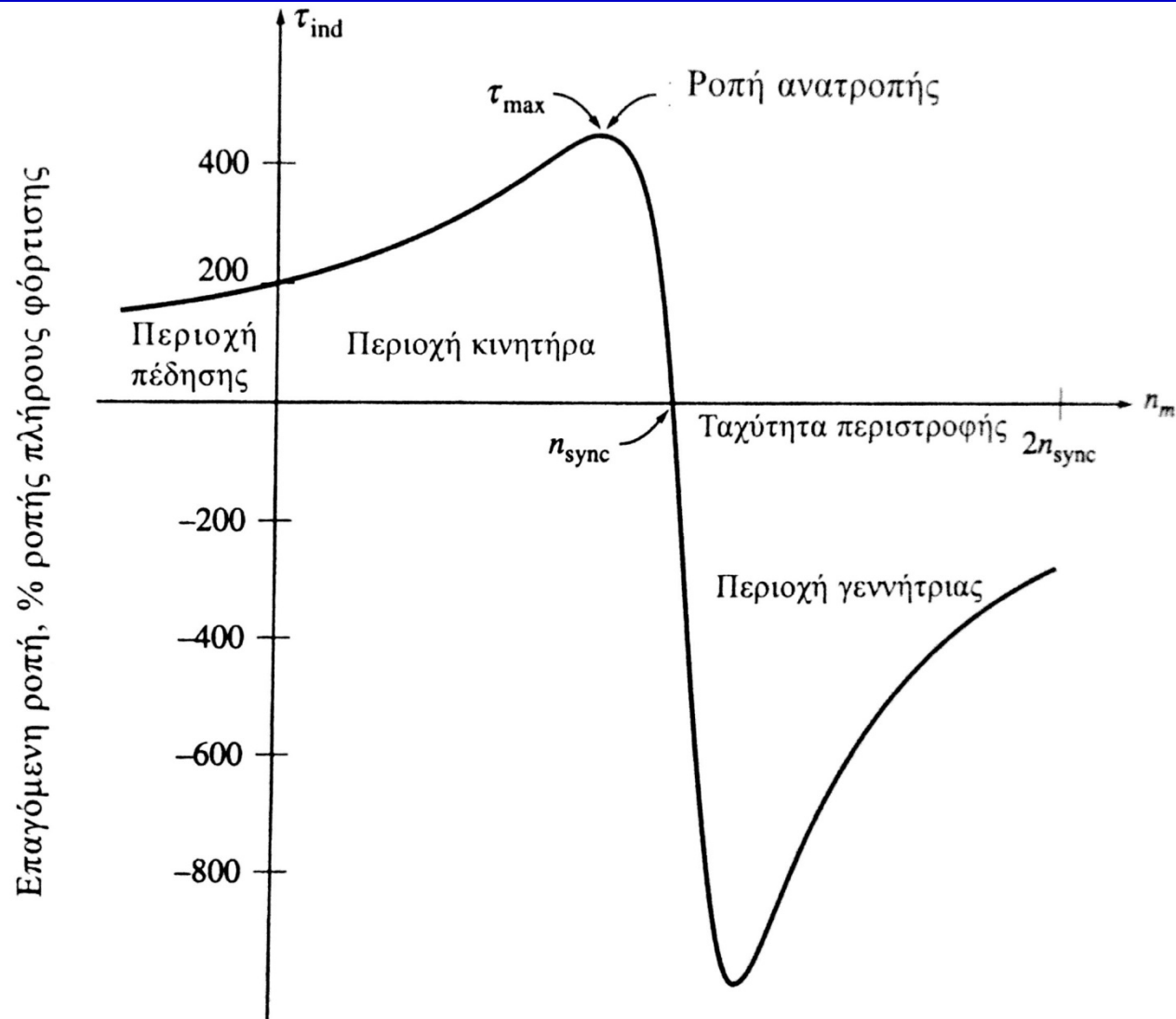
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

5. Ας σημειωθεί ότι η ροπή του κινητήρα για μια δεδομένη ισχύ της ολίσθησης μεταβάλλεται με το τετράγωνο της τάσης εισόδου. Το γεγονός αυτό είναι πολύ χρήσιμο σε μια από τις τεχνικές ελέγχου της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα
6. Αν ο δρομέας του κινητήρα περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη από τη σύγχρονη ταχύτητα, η φορά περιστροφής της επαγόμενης ροπής αντιστρέφεται με αποτέλεσμα η μηχανή να λειτουργεί ως γεννήτρια μετατρέποντας μηχανική ισχύ σε ηλεκτρική
7. Αν η φορά περιστροφής του κινητήρα είναι αντίθετη από τη φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων στο εσωτερικό του, η επαγόμενη ροπή θα σταματήσει τον κινητήρα και θα προσπαθήσει να τον περιστρέψει στην αντίθετη φορά. Αυτό μπορεί να συμβεί απλά με αντιμετάθεση των συνδέσεων σε 2 από τις 3 φάσεις. Αυτή η αντιμετάθεση ονομάζεται ακαριαία πέδηση

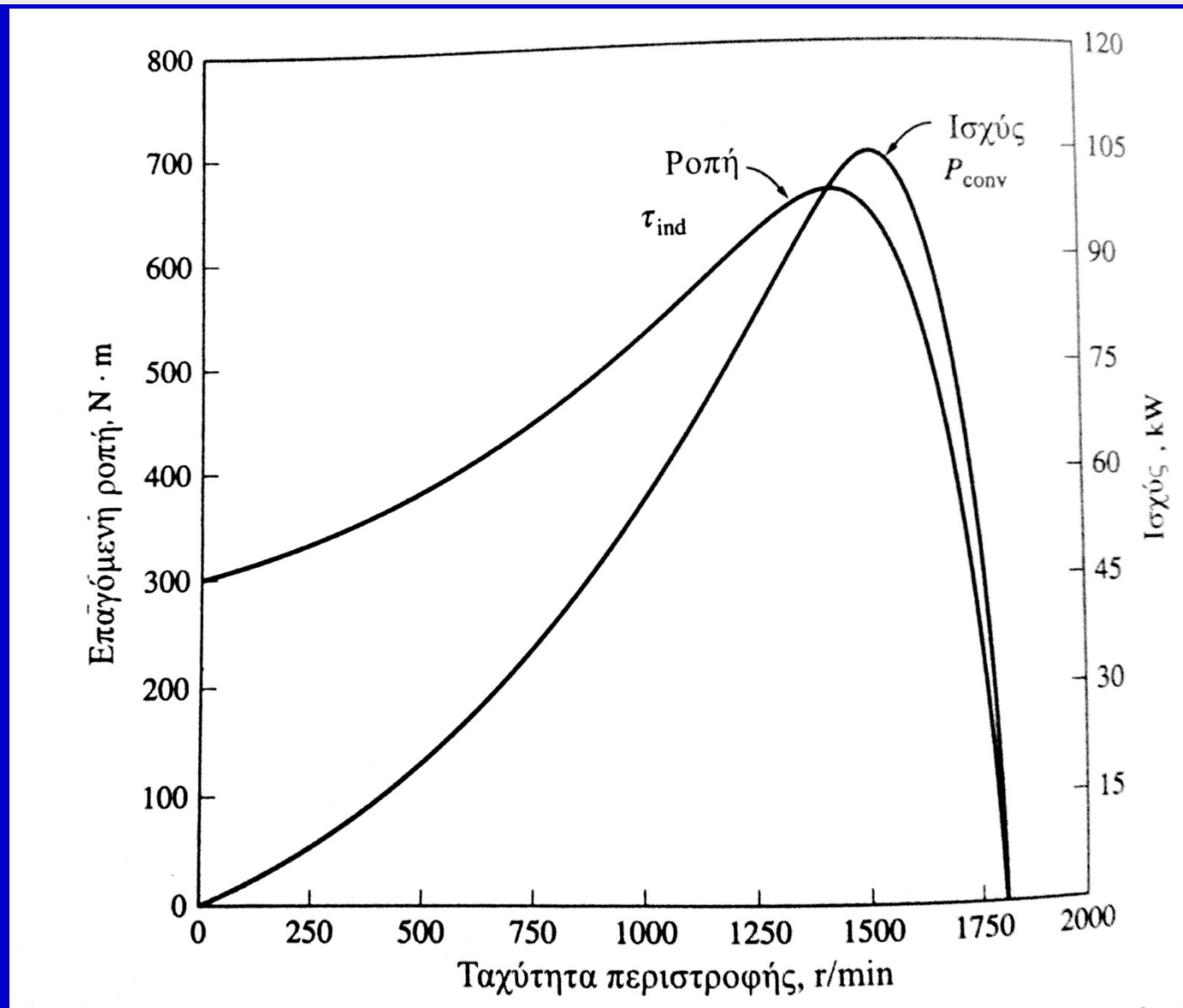
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Αφού η επαγόμενη ροπή ενός επαγωγικού κινητήρα είναι ίσης με P_{AG}/ω_{sync} , η μέγιστη ροπή εμφανίζεται όταν η ισχύς διακένου είναι μέγιστη
- Όμως επειδή η ισχύς διακένου είναι ίση με την ισχύ που καταναλώνεται πάνω στην αντίσταση R_2/s , η μέγιστη επαγόμενη ροπή εμφανίζεται όταν η ισχύς που καταναλώνεται από την παραπάνω αντίσταση είναι η μέγιστη
- Η μέγιστη μεταφορά ισχύος σε αυτή την αντίσταση εμφανίζεται όταν το μέτρο αυτής της σύνθετης αντίστασης είναι ίσο με το μέτρο της εσωτερικής σύνθετης αντίστασης της πηγής
- Η ισοδύναμη εσωτερική σύνθετη αντίσταση της πηγής στο υπό εξέταση κύκλωμα είναι:

$$Z_{source} = R_{TH} + jX_{TH} + jX_2$$

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Και έτσι η μέγιστη μεταφορά ισχύος πραγματοποιείται όταν:

$$\frac{R_2}{s} = \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}$$

- Η λύση αυτής της εξίσωσης ως προς την ολίσθηση δίνει την τιμή της ολίσθησης στο σημείο που η ροπή είναι ίση με τη ροπή ανατροπής

$$s_{\max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}}$$

- Ας σημειωθεί πως η ανηγμένη αντίσταση του δρομέα R_2 εμφανίζεται μόνο στον αριθμητή της παραπάνω σχέσης, δηλαδή η ολίσθηση στο σημείο της μέγιστης ροπής είναι ανάλογη της αντίστασης δρομέα

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

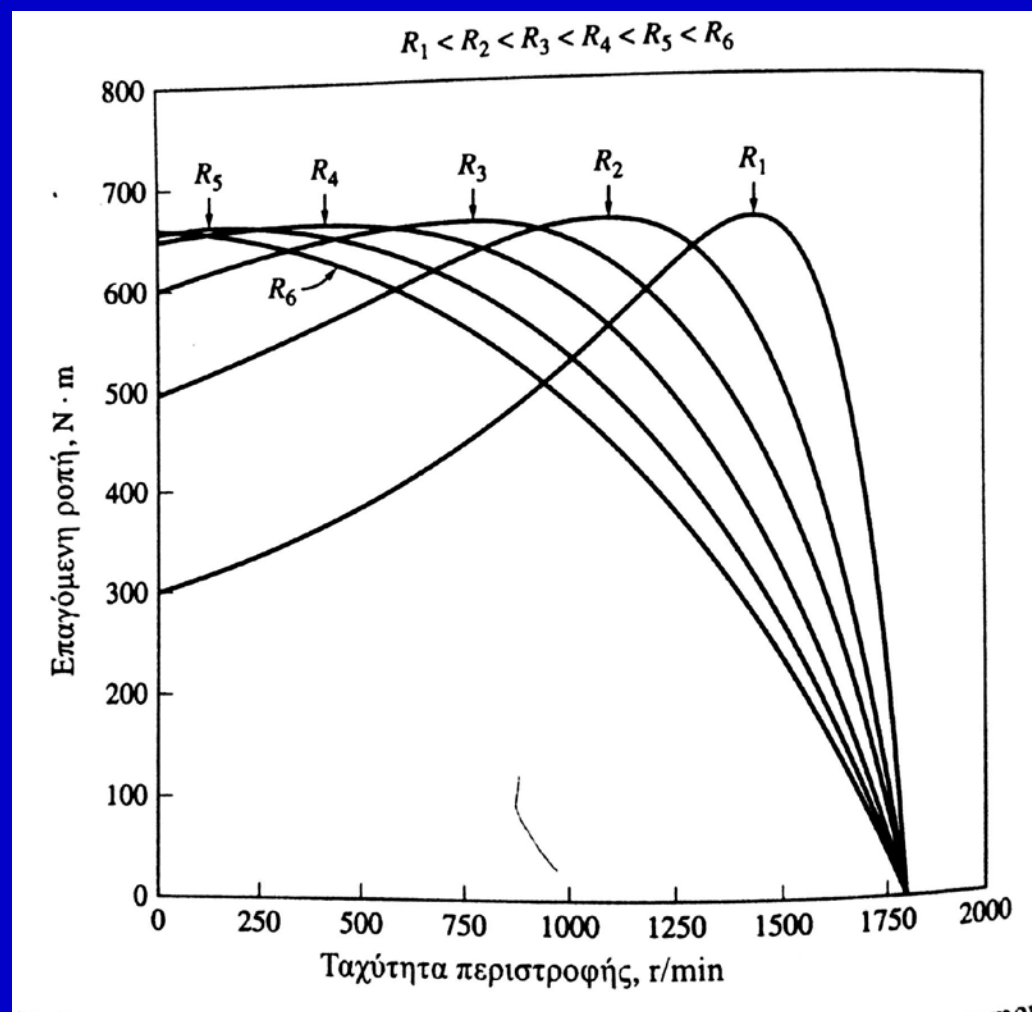
- Η τιμή της μέγιστης ροπής είναι δυνατό να υπολογιστεί με την εισαγωγή της τιμής που παίρνει η ολίσθηση όταν η ροπή είναι μέγιστη, στην εξίσωση της ροπής
- Η εξίσωση που προκύπτει για τη μέγιστη ροπή (ροπή ανατροπής) είναι:

$$\tau_{\max} = \frac{3V_{TH}^2}{2\omega_{sync} \left[R_{TH} + \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2} \right]}$$

- Η παραπάνω ροπή είναι ανάλογη με το τετράγωνο της τάσης τροφοδοσίας και εξαρτάται από το αντίστροφο της σύνθετης αντίστασης του στάτη και της αντίδρασης του δρομέα
- Δηλαδή, όσο μικρότερες είναι οι αντιδράσεις στη μηχανή, τόσο μεγαλύτερη είναι η μέγιστη ροπή που είναι δυνατό να επιτευχθεί

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Η χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Στο κύκλωμα δρομέα ενός επαγωγικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα είναι δυνατή η εισαγωγή αντιστάσεων αφού τα άκρα του κυκλώματος του δρομέα μεταφέρονται στο εξωτερικό μέρος της μηχανής μέσω των δακτυλιδιών που διαθέτει
- Επίσης, καθώς η αντίσταση του δρομέα αυξάνεται, η ταχύτητα ανατροπής μειώνεται ενώ η ροπή ανατροπής παραμένει σταθερή
- Αυτό το πλεονέκτημα του επαγωγικού κινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την εκκίνηση πολύ ισχυρών φορτίων
- Με την εισαγωγή μιας αντίστασης στο δρομέα είναι δυνατή η ρύθμιση της μέγιστης ροπής ώστε αυτή να εμφανίζεται κατά την εκκίνηση του κινητήρα

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

- Με αυτό τον τρόπο ή μέγιστη ροπή είναι διαθέσιμη κατά την εκκίνηση μεγάλων φορτίων
- Επιπλέον, αφού το φορτίο αρχίσει να περιστρέφεται κανονικά, η πρόσθετη αντίσταση είναι δυνατό να απομακρυνθεί ώστε η μέγιστη ροπή να μετακινηθεί σε μια ταχύτητα πολύ κοντά στη σύγχρονη