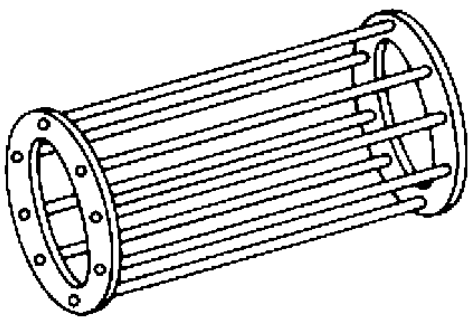


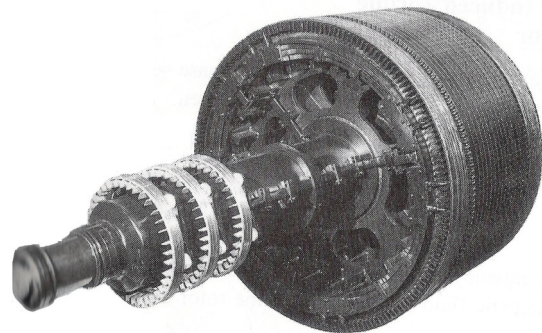
ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Η ονομασία αυτής της κατηγορίας των κινητήρων προέρχεται από το γεγονός ότι η τάση στο δρομέα, η οποία παράγει το ρεύμα διέγερσης και, κατ' επέκταση, το πεδίο του δρομέα, επάγεται στα τυλίγματά του, χωρίς να προσφέρεται από κάποια εξωτερική ηλεκτρική πηγή. Λόγω αυτής της ιδιότητας, ουσιαστικά ένας επαγωγικός κινητήρας μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μετασχηματιστής με στρεφόμενο δευτερεύον τύλιγμα[◇]. Ο στάτης ενός επαγωγικού κινητήρα έχει την ίδια δομή με το στάτη των σύγχρονων γεννητριών. Από την άλλη πλευρά, ανάλογα με τον τύπο του δρομέα (ο οποίος κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα, για την ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω δινορρευμάτων), οι επαγωγικοί κινητήρες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: σε αυτούς με *δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού* (ο πιο κοινός τύπος) και σε αυτούς με *δακτυλιοφόρο δρομέα*.

Ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού φέρει αυλάκια στην επιφάνειά του, μέσα στα οποία είναι τοποθετημένες αγωγίμες ράβδοι. Τα άκρα των τελευταίων βραχυκυκλώνονται μέσω των λεγόμενων *δακτυλίων βραχυκύκλωσης*. Οι δακτυλιοφόροι δρομείς φέρουν τριφασικό τύλιγμα αντίστοιχο με αυτό του στάτη. Οι φάσεις τους συνδέονται κατά κανόνα σε αστέρα και τα τρία ελεύθερα άκρα των αγωγών συνδέονται σε ισάριθμους δακτυλίους, με αποτέλεσμα να βραχυκυκλώνονται μέσω ψηκτρών που εφάπτονται στους δακτυλίους. Η διάταξη αυτή έχει το προφανές χαρακτηριστικό ότι επιτρέπει τη σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα του δρομέα.



Βραχυκυκλωμένος κλωβός



Δακτυλιοφόρος δρομέας

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Όταν εφαρμοστεί στο τύλιγμα του στάτη ένα τριφασικό σύστημα τάσεων, αναπτύσσεται σε αυτό ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων, το οποίο προκαλεί το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο \mathbf{B}_s . Η ταχύτητα περιστροφής του τελευταίου έχει την τιμή, κατά τα γνωστά

$$n_{sync} = \frac{60 f_e}{P}$$

[◇] Μετασχηματιστής είναι μια ηλεκτρική διάταξη αποτελούμενη από δύο ή περισσότερα πηνία, τυλιγμένα σε κοινό σιδηρομαγνητικό πυρήνα, χωρίς να είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους.

όπου f_e η ηλεκτρική συχνότητα του τριφασικού συστήματος και $2P$ ο αριθμός των πόλων. Επειδή το συγκεκριμένο μαγνητικό πεδίο διέρχεται από τους αγωγούς του δρομέα, θα επάγει τάση σε αυτούς, η οποία αποτελεί την αιτία για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος του δρομέα. Προφανώς, το ρεύμα αυτό προκαλεί ένα αντίστοιχο μαγνητικό πεδίο \mathbf{B}_R , με συνέπεια να επάγεται ροπή ίση με

$$\boldsymbol{\tau}_{ind} = k(\mathbf{B}_R \times \mathbf{B}_S)$$

με φορά ίδια με τη φορά περιστροφής του \mathbf{B}_S . Με άλλα λόγια, αν ο δρομέας είναι αρχικά ακίνητος, λόγω της ροπής θα επιταχύνει. Βέβαια, είναι φανερό πως υπάρχει ένα άνω όριο στην ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο δρομέας, αφού η τάση στους αγωγούς του οφείλεται στη σχετική κίνησή τους ως προς το πεδίο του στάτη. Επομένως, ο δρομέας δεν μπορεί να περιστρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα n_{sync} , διότι τότε η επαγόμενη τάση στους αγωγούς είναι μηδενική, με συνέπεια να μη διαρρέονται αυτοί από ρεύμα και, τελικά, να μην αναπτύσσεται ροπή. Κάτι τέτοιο θα προκαλούσε επιβράδυνση του δρομέα, λόγω της ροπής των τριβών. Για το λόγο αυτό, ένα επαγωγικός κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητα κοντά, αλλά ποτέ ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα.

Ολίσθηση του δρομέα

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως η σχετική κίνηση του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο είναι η αιτία ανάπτυξης τάσης στους αγωγούς του. Η διαφορά της ταχύτητας περιστροφής n_m του άξονα από τη σύγχρονη ταχύτητα n_{sync} ονομάζεται *ταχύτητα ολίσθησης* της επαγωγικής μηχανής:

$$n_{slip} = n_{sync} - n_m.$$

Ένα δεύτερο μέγεθος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της σχετικής κίνησης είναι η *ολίσθηση* s , η οποία εκφράζει ουσιαστικά τη σχετική ταχύτητα ολίσθησης:

$$s = \frac{n_{slip}}{n_{sync}} = \frac{n_{sync} - n_m}{n_{sync}} = \frac{\omega_{sync} - \omega_m}{\omega_{sync}}.$$

Αν ο δρομέας της μηχανής είναι ακινητοποιημένος, τότε έχουμε $s = 1$, ενώ στη περίπτωση που αυτός περιστρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα, η ολίσθηση είναι μηδενική ($s = 0$). Επιπλέον, η ταχύτητα περιστροφής μπορεί να εκφραστεί ως ένα ποσοστό της σύγχρονης ταχύτητας με τη βοήθεια της ολίσθησης, αφού προκύπτει εύκολα ότι

$$\omega_m = (1 - s)\omega_{sync}.$$

Η συχνότητα στο δρομέα σχετίζεται με την ηλεκτρική συχνότητα στο στάτη μέσω της σχέσης

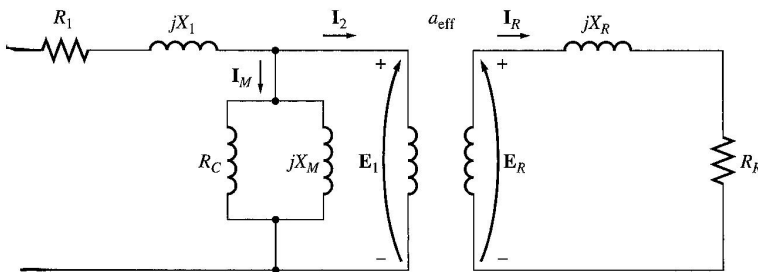
$$f_R = sf_e$$

δεδομένου ότι:

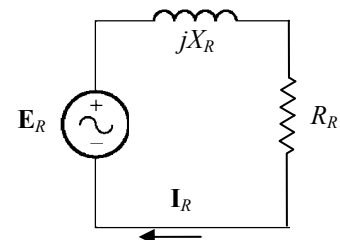
- όταν ο δρομέας είναι ακίνητος ($n_m = 0$ rpm), η ολίσθηση είναι $s = 1$ και η συχνότητα στο δρομέα είναι $f_R = f_e$,
- όταν ο δρομέας στρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα ($n_m = n_{sync}$), η ολίσθηση είναι μηδενική ($s = 0$) και η συχνότητα στο δρομέα είναι $f_R = 0$ Hz.

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Για την εξαγωγή του ισοδύναμου κυκλώματος ενός επαγωγικού κινητήρα, λαμβάνεται υπόψη ότι η λειτουργία του είναι όμοια με αυτή ενός μετασχηματιστή (όχι, όμως, πανομοιότυπη, αφού η συχνότητα της τάσης στο δρομέα διαφέρει από αυτή στο στάτη). Έτσι, το τύλιγμα του στάτη μπορεί να θεωρηθεί ως το πρωτεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή με αντίσταση R_1 , η οποία αντικατοπτρίζει τις θερμικές απώλειες στους αγωγούς του αντίστοιχου τριφασικού τυλίγματος. Σημειώνεται πως εξαιτίας της παρουσίας του διακένου, η σύζευξη μεταξύ των δύο επιμέρους κυκλωμάτων στην περίπτωση του επαγωγικού κινητήρα (δηλ. του στάτη και του δρομέα) δεν είναι τόσο καλή, όσο στην περίπτωση ενός καλά σχεδιασμένου μετασχηματιστή. Αυτό συμβαίνει διότι η συνολική ροή που δημιουργείται από το κύκλωμα του στάτη μπορεί να αναλυθεί σε δύο μέρη: σε αυτό το τμήμα της ροής που σχετίζεται με το κύκλωμα του δρομέα (*αμοιβαία ροή*) και στη *ροή σκέδασης*, η οποία παριστάνεται μέσω της αντίδρασης X_1 . Επιπλέον, το I_M είναι το ρεύμα μαγνήτισης (η αιτία ανάπτυξης της μαγνητικής ροής), στο οποίο αντιστοιχίζεται η αντίδραση X_M . Για το ρεύμα απωλειών του σιδηρομαγνητικού υλικού εισάγεται η ωμική αντίσταση R_C , περιγράφοντας τις απώλειες υστέρησης και δινορρευσμάτων. Η εσωτερική τάση E_1 σχετίζεται με την τάση E_R που επάγεται στο δρομέα μέσω κάποιο λόγο μετασχηματισμού a . Προφανώς η E_R είναι αυτή που προκαλεί την κυκλοφορία ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα του δρομέα. Σημειώνεται πως η βασική διαφορά ανάμεσα στα κυκλωματικά ισοδύναμα του μετασχηματιστή και του επαγωγικού κινητήρα εντοπίζεται όχι τόσο στα μεγέθη του στάτη, αλλά σε αυτά του δρομέα και προέρχεται από την επίδραση της μεταβολής της συχνότητας του δρομέα στα μεγέθη E_R , R_R και X_R .



Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή, όπου βασίζεται το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα.



Ισοδύναμο κύκλωμα μόνο του δρομέα

Η τάση που επάγεται στους αγωγούς του δρομέα εξαρτάται άμεσα από τη σχετική ταχύτητά του ως προς το πεδίο του στάτη. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η σχετική ταχύτητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της επαγόμενης τάσης. Πιο συγκεκριμένα, αν ο δρομέας είναι ακινητοποιημένος (π.χ. κατά την εκκίνηση του κινητήρα), η τάση στα τυλίγματά του είναι η μέγιστη δυνατή (έστω E_{R0}). Αντίθετα, όταν ο δρομέας περιστρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα, η τάση στους αγωγούς του είναι μηδενική. Για οποιαδήποτε άλλη τιμή της ταχύτητας περιστροφής, η επαγόμενη τάση είναι ανάλογη της ολίσθησης:

$$E_R = sE_{R0}.$$

Όσον αφορά την αντίδραση του δρομέα, αυτή εξαρτάται τόσο από την αυτεπαγωγή του, όσο και από τη συχνότητα του ρεύματος που το διαρρέει. Επειδή η τελευταία συνδέεται με την ηλεκτρική συχνότητα, όπως δείχθηκε παραπάνω, μέσω της σχέσης $\omega_R = s\omega_e$, προκύπτει άμεσα πως η αντίδραση του δρομέα μπορεί να εκφραστεί ως

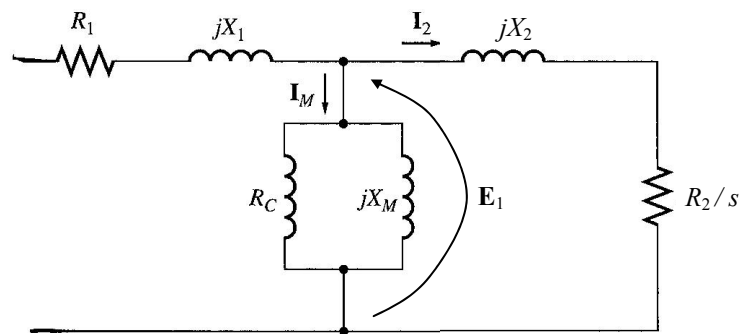
$$X_R = \omega_R L_R = s\omega_e L_R = sX_{R0}$$

όπου X_{R0} η αντίδραση του δρομέα, όταν αυτός είναι ακινητοποιημένος. Από την άλλη πλευρά, για το ρεύμα του δρομέα, έχουμε:

$$\mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{E}_R}{R_R + jX_R} \Rightarrow \mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{E}_{R0}}{R_R/s + jX_{R0}}$$

Με άλλα λόγια, το κύκλωμα του δρομέα μπορεί να θεωρηθεί ότι τροφοδοτείται από μια σταθερή πηγή τάσης \mathbf{E}_{R0} και περιλαμβάνει μια (ισοδύναμη) μεταβλητή σύνθετη αντίσταση $R_R/s + jX_{R0}$. Γίνεται φανερό πως όταν η ολίσθηση είναι μικρή, το ωμικό μέρος λαμβάνει μεγάλες τιμές ($R_R/s \gg X_{R0}$) και το ρεύμα μεταβάλλεται γραμμικά με την ολίσθηση. Αντίθετα, για μεγάλες τιμές της ολίσθησης είναι $R_R/s \ll X_{R0}$ και το ρεύμα προσεγγίζει μια σταθερή τιμή.

Τέλος, συνυπολογίζοντας την τιμή του λόγου μετασχηματισμού α , ορίζουμε τις τιμές $\mathbf{E}_1 = \alpha\mathbf{E}_{R0}$, $\mathbf{I}_2 = \mathbf{I}_R/\alpha$, $R_2 = \alpha^2 R_R$ και $X_2 = \alpha^2 X_{R0}$ για το ακόλουθο τελικό, ανά φάση, κυκλωματικό ισοδύναμο του επαγωγικού κινητήρα:



Ανά φάση κυκλωματικό ισοδύναμο επαγωγικού κινητήρα

Μηχανές όπως ο επαγωγικός κινητήρας που χρειάζονται τροφοδοσία μόνο του στάτη χαρακτηρίζονται ως απλής διέγερσης, σε αντιδιαστολή με τις μηχανές των οποίων τόσο ο στάτης, όσο και ο δρομέας τροφοδοτούνται από εξωτερικές πηγές και οι οποίες ονομάζονται διπλής διέγερσης.