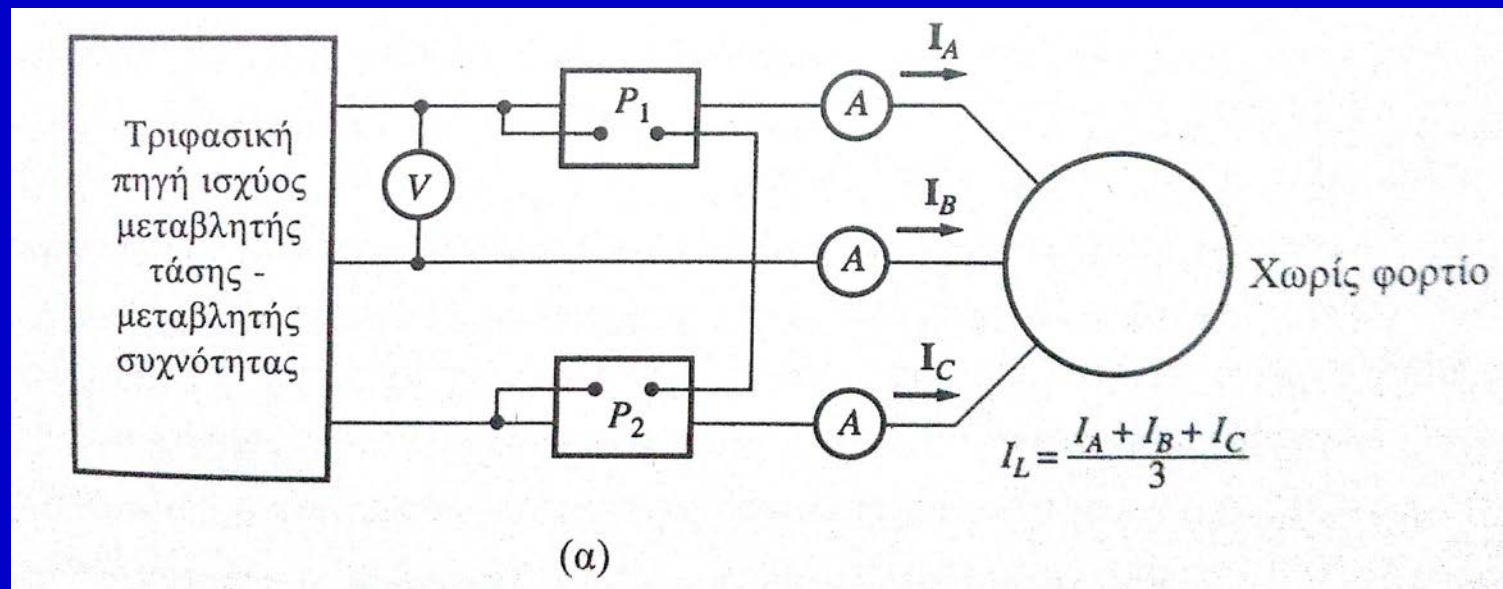


ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός επαγωγικού κινητήρα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τον προσδιορισμό της απόκρισης του κινητήρα στις αλλαγές του φορτίου του
- Για να χρησιμοποιηθεί αυτό το ισοδύναμο θα πρέπει να προσδιοριστούν οι τιμές των στοιχείων σε αυτό το κύκλωμα
- Αυτές οι τιμές μπορούν να εξαχθούν από ένα επαγωγικό κινητήρα αν αυτός υποβληθεί σε μία σειρά από πειράματα που είναι ανάλογα με τα πειράματα βραχυκύκλωσης και ανοιχτού κυκλώματος σε ένα Μ/Σ
- Τα πειράματα θα πρέπει να πραγματοποιούνται κάτω από συνθήκες αυστηρά ελεγχόμενες επειδή οι αντιστάσεις μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία και ειδικά η αντίσταση του δρομέα μεταβάλλεται με τη συχνότητα στο δρομέα

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Στο πείραμα χωρίς φορτίο ενός επαγωγικού κινητήρα υπολογίζονται οι απώλειες περιστροφής του κινητήρα και παρέχονται πληροφορίες σχετικά με το ρεύμα μαγνήτισης

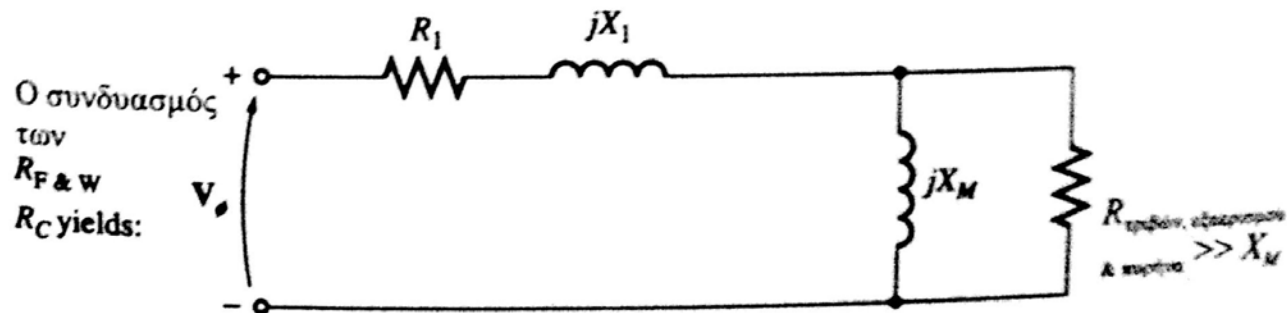
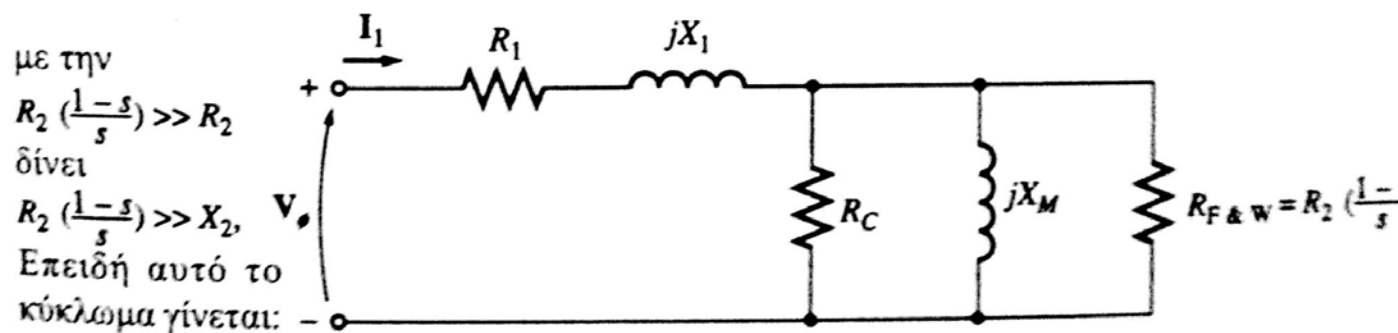
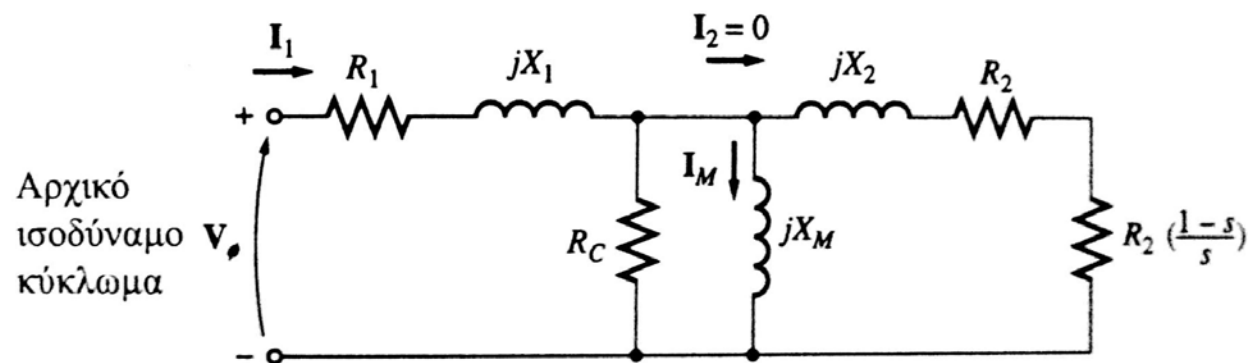


- Στον κινητήρα που περιστρέφεται ελεύθερα συνδέονται 2 βατόμετρα, 1 βολτόμετρο και 3 αμπερόμετρα

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Το μοναδικό φορτίο για τον κινητήρα είναι οι απώλειες τριβών και οι απώλειες εξαερισμού με αποτέλεσμα όλη η P_{conv} να καταναλώνεται στις μηχανικές απώλειες
- Η ολίσθηση του κινητήρα είναι πολύ μικρή (ίσως και μικρότερη από 0.001)
- Επειδή η ολίσθηση είναι πολύ μικρή, η αντίσταση που αντιστοιχεί στη μετατρεπόμενη ισχύ $R_2(1-s)/s$ είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση R_2 που αντιστοιχεί στις απώλειες χαλκού στο δρομέα και πολύ μεγαλύτερη από την αντίδραση X_2 του δρομέα

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ



ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Σε αυτόν τον κινητήρα η ισχύς εισόδου που μετριέται με τα όργανα θα πρέπει να είναι ίση με τις απώλειες του κινητήρα
- Οι απώλειες χαλκού στο δρομέα είναι αμελητέες επειδή το ρεύμα I_2 είναι εξαιρετικά μικρό (εφόσον η αντίσταση φορτίου $R_2(1-s)/s$ είναι μεγάλη) και έτσι είναι δυνατό να αγνοηθούν
- Οι απώλειες χαλκού στο στάτη δίνονται από τη σχέση $P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$
- Έτσι η ισχύς εισόδου θα είναι ίση με
$$P_{in} = P_{SCL} + P_{core} + P_{F\&W} + P_{misc} = 3I_1^2 R_1 + P_{rot}$$
- Όπου P_{rot} είναι οι απώλειες περιστροφής
$$P_{rot} = P_{core} + P_{F\&W} + P_{misc}$$
- Άρα αν είναι γνωστή η ισχύς εισόδου μπορούν να υπολογιστούν οι απώλειες περιστροφής

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Το ισοδύναμο κύκλωμα που περιγράφει τον κινητήρα όταν λειτουργεί κάτω από αυτές τις συνθήκες περιλαμβάνει τις αντιστάσεις R_c και $R_2(1-s)/s$ που είναι συνδεδεμένες παράλληλα με την αντίσταση μαγνήτισης X_m
- Το ρεύμα που απαιτείται για την εγκατάσταση ενός μαγνητικού πεδίου στον επαγωγικό κινητήρα είναι αρκετά μεγάλο αφού η μαγνητική αντίσταση διακένου είναι μεγάλη
- Έτσι η αντίδραση X_m θα είναι πολύ μικρότερη από τις αντιστάσεις που παραλληλίζονται μαζί της και ο συνολικός συντελεστής ισχύος θα είναι μικρός
- Επειδή παρουσιάζεται μεγάλο επαγωγικό ρεύμα το μεγαλύτερο μέρος της πτώσης τάσης θα εμφανίζεται στα άκρα των επαγωγικών στοιχείων του κυκλώματος

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Έτσι η προσεγγιστική τιμή της ισοδύναμης αντίστασης εισόδου θα είναι

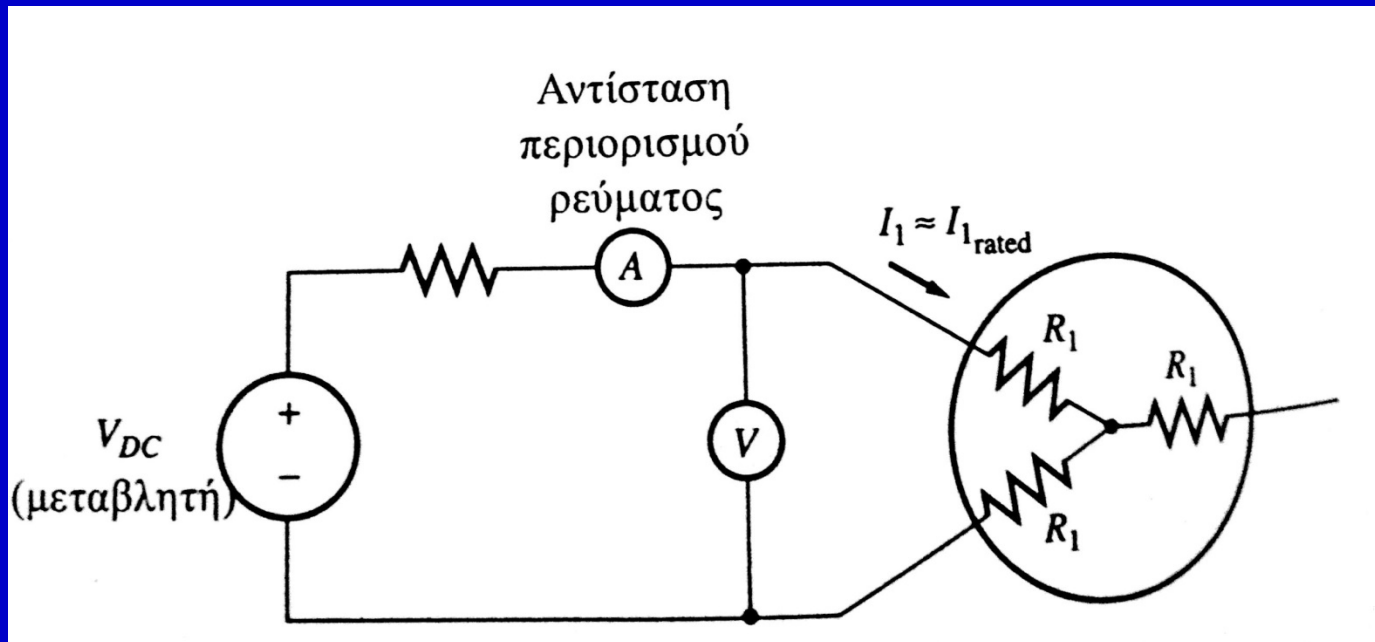
$$|Z_{eq}| = \frac{V_{\varphi}}{I_{1,n1}} \approx X_1 + X_M$$

- Αν η X_1 μπορεί να προσδιοριστεί με κάποιον άλλο τρόπο η αντίδραση μαγνήτισης X_M του κινητήρα θα είναι πια γνωστή
- Η αντίσταση του δρομέα R_2 παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του επαγωγικού κινητήρα
- Η R_2 προσδιορίζει τη μορφή της καμπύλης ροπής-ταχύτητας καθορίζοντας το σημείο της καμπύλης όπου εμφανίζεται η ροπή ανατροπής
- Με το πείραμα ακινητοποιημένου δρομέα είναι δυνατό να υπολογιστεί η συνολική αντίσταση του κυκλώματος του κινητήρα

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Σε αυτό το πείραμα υπολογίζεται η συνολική αντίσταση του κυκλώματος, για να βρεθεί με ακρίβεια η R_2 θα πρέπει να υπολογιστεί η R_1 και κατόπιν να αφαιρεθεί από τη συνολική αντίσταση
- Το πείραμα για τον υπολογισμό της R_1 ανεξάρτητα από τις R_2 , X_1 και X_2 ονομάζεται πείραμα συνεχούς ρεύματος
- Στο τύλιγμα του στάτη του κινητήρα εφαρμόζεται μια συνεχής τάση, το ρεύμα είναι συνεχές, δεν επάγεται τάση στο κύκλωμα δρομέα και το ρεύμα του δρομέα είναι μηδέν
- Η αντίδραση δρομέα είναι μηδέν εξαιτίας του συνεχούς ρεύματος σε αυτόν, έτσι το μόνο στοιχείο που περιορίζει το ρεύμα του κινητήρα είναι η αντίσταση του στάτη που μπορεί να υπολογιστεί

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ



- Στο πείραμα συνεχούς ρεύματος μία πηγή συνεχούς τάσης συνδέεται στα 2 από τα 3 άκρα του επαγωγικού κινητήρα συνδεδεμένου σε αστέρα
- Για την πραγματοποίηση του πειράματος, το ρεύμα στα τυλίγματα του στάτη ρυθμίζεται στην ονομαστική τιμή και μετριέται η τάση στα 2 άκρα του κινητήρα

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Το ρεύμα στα τυλίγματα του στάτη ρυθμίζεται να έχει ονομαστική τιμή με σκοπό να θερμαίνει τα τυλίγματα στη θερμοκρασία που έχουν στην κανονική λειτουργία
- Το ρεύμα στο κύκλωμα διαρρέει τα 2 τυλίγματα του στάτη οπότε η συνολική αντίσταση του κυκλώματος είναι $2R_1$. Έτσι:

$$2R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

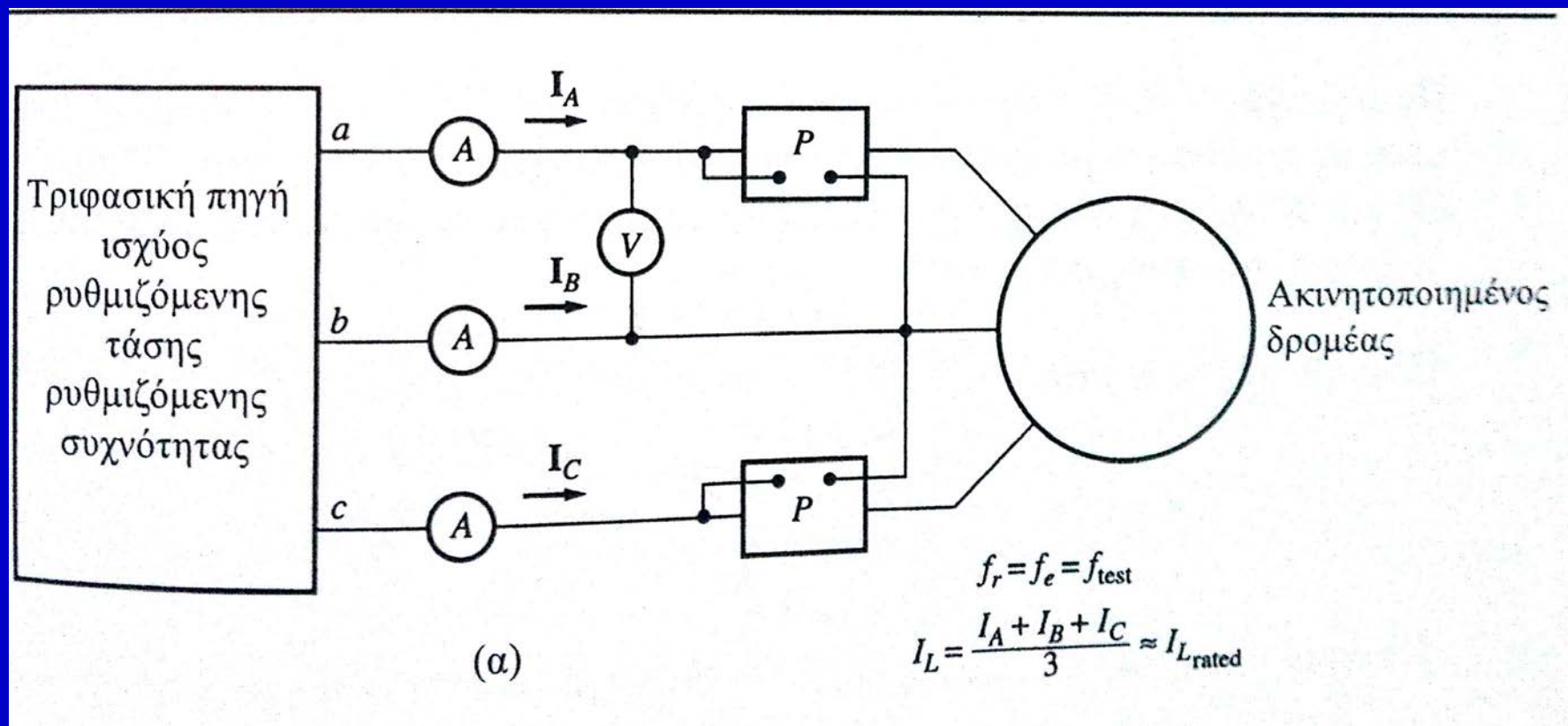
$$R_1 = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}}$$

- Με την τιμή της R_1 που υπολογίστηκε είναι δυνατό να προσδιοριστούν οι απώλειες χαλκού στο στάτη κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο ενώ οι απώλειες περιστροφής που υπολογίζονται από τη διαφορά των απωλειών χαλκού στο στάτη και της ισχύος εισόδου στη λειτουργία χωρίς φορτίο

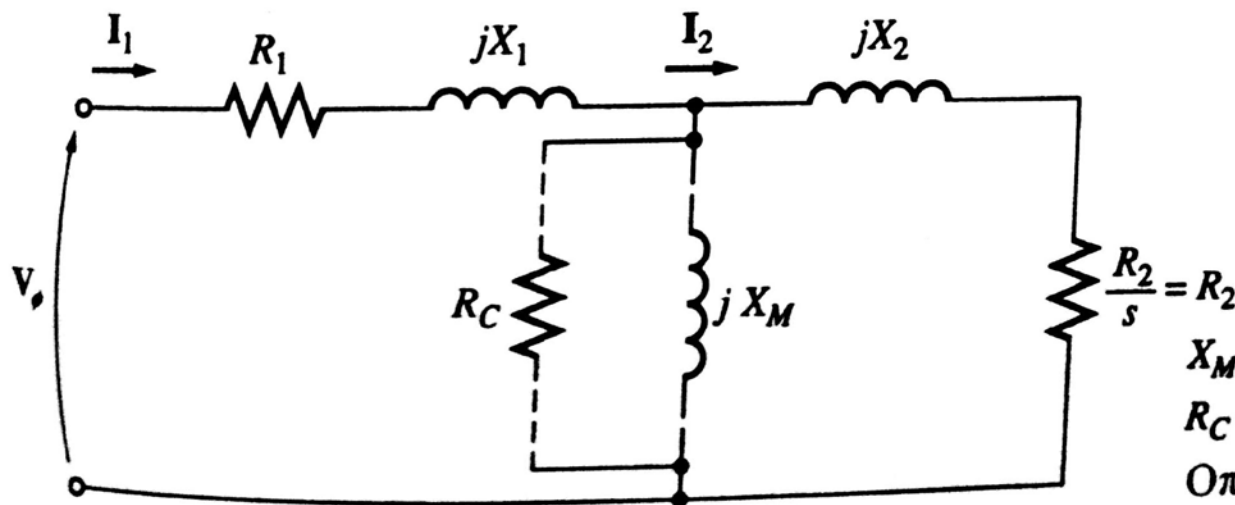
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Το τρίτο πείραμα πραγματοποιείται σε ένα επαγωγικό κινητήρα με σκοπό τον προσδιορισμό των παραμέτρων του κυκλώματος ονομάζεται πείραμα ακινητοποιημένου δρομέα
- Αυτό το πείραμα αντιστοιχεί στο πείραμα βραχυκύκλωσης που πραγματοποιείται σε ένα Μ/Σ
- Σε αυτό το πείραμα ο δρομέας ακινητοποιείται ώστε να μην μπορεί να κινηθεί, εφαρμόζεται μια τάση στον κινητήρα και κατόπιν μετριοούνται η τάση, το ρεύμα και η ισχύς
- Στο στάτη εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση και ρυθμίζεται το ρεύμα ώστε να είναι περίπου ίσο με το ρεύμα στην πλήρη φόρτιση

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ



ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ



$$X_M \gg |R_2 + jX_2|$$

$$R_C \gg |R_2 + jX_2|$$

Οπότε οι R_C και X_M αμελούνται

(β)

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Επειδή ο δρομέας δεν κινείται η ολίσθηση είναι $s=1$ και έτσι η αντίσταση R_2/s είναι ακριβώς ίση με R_2 (αρκετά μικρή τιμή)
- Επειδή οι R_2 και X_2 είναι τόσο μικρές σχεδόν όλο το ρεύμα εισόδου θα διαρρέει αυτές τις αντιστάσεις και όχι την πολύ μεγαλύτερη αντίδραση μαγνήτισης X_m
- Έτσι στο κύκλωμα κάτω από αυτές τις συνθήκες οι X_1 , R_1 , X_2 και R_2 θα συμπεριφέρονται σαν να είναι συνδεδεμένες σε σειρά
- Σε αυτό το πείραμα υπάρχει ένα πρόβλημα: η συχνότητα του στάτη στην κανονική λειτουργία είναι ίση με τη συχνότητα του συστήματος ισχύος (50 ή 60 Hz)
- Η συχνότητα λοιπόν είναι στον δρομέα κατά την εκκίνηση ίση με τη συχνότητα του δικτύου

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Όμως στην κανονική λειτουργία η ολίσθηση των περισσότερων κινητήρων είναι ίση το πολύ με 2 ως 4 % και έτσι το εύρος της συχνότητας του δρομέα είναι από 1 ως 3 Hz
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το εξής πρόβλημα: η συχνότητα του δικτύου ισχύος δεν αντιπροσωπεύει τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας στο δρομέα
- Αφού η ενεργός αντίσταση του δρομέα στους κινητήρες κλάσης B και C εξαρτάται σημαντικά από τη συχνότητα, η λανθασμένη συχνότητα στο δρομέα κατά τη διαδικασία του πειράματος μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά αποτελέσματα
- Ο τυπικός συμβιβασμός που γίνεται σε αυτή την περίπτωση είναι η χρήση μιας συχνότητας μικρότερης από την ονομαστική κατά 25% ή και μικρότερης

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Αν και αυτή η μέθοδος είναι αποδεκτή για τους δρομείς με σχεδόν σταθερή αντίσταση (κλάσεις A και D) αφήνει πολλά κενά όταν γίνεται προσπάθεια να υπολογιστεί η αντίσταση ενός δρομέα μεταβλητής αντίστασης
- Εξαιτίας αυτών αλλά και κάποιων άλλων παρόμοιων προβλημάτων, όταν παίρνονται μετρήσεις από αυτά τα πειράματα θα πρέπει να εφαρμόζονται με προσοχή οι κανονισμοί
- Μετά τη οριστικοποίηση της τάσης και της συχνότητας του πειράματος θα πρέπει το ρεύμα εισόδου στον κινητήρα να ρυθμιστεί γρήγορα στην ονομαστική τιμή και να μετρηθούν η ισχύς, η τάση και το ρεύμα εισόδου πριν να θερμανθεί πάρα πολύ ο δρομέας
- Η ισχύς εισόδου στον κινητήρα δίνεται από

$$P = \sqrt{3} V_T I_L \cos \theta$$

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Από τη σχέση της ισχύος εισόδου μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής ισχύος

$$PF = \cos \theta = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} V_T I_L}$$

- Το μέτρο της ολικής σύνθετης αντίστασης του κυκλώματος του κινητήρα είναι

$$|Z_{LR}| = \frac{V_\varphi}{I_1} = \frac{V_T}{\sqrt{3} I_L}$$

- Και η γωνία της ολικής αντίστασης είναι θ . Έτσι,

$$Z_{LR} = R_{LR} + jX'_{LR} = |Z_{LR}| \cos \theta + j |Z_{LR}| \sin \theta$$

- Η αντίσταση και η αντίδραση του ακινητοποιημένου δρομέα θα είναι:

$$R_{LR} = R_1 + R_2 \qquad X_{LR} = X'_1 + X'_2$$

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Από τη σχέση της ισχύος εισόδου μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής ισχύος

$$PF = \cos \theta = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} V_T I_L}$$

- Το μέτρο της ολικής σύνθετης αντίστασης του κυκλώματος του κινητήρα είναι

$$|Z_{LR}| = \frac{V_\varphi}{I_1} = \frac{V_T}{\sqrt{3} I_L}$$

- Και η γωνία της ολικής αντίστασης είναι θ . Έτσι,

$$Z_{LR} = R_{LR} + jX'_{LR} = |Z_{LR}| \cos \theta + j |Z_{LR}| \sin \theta$$

- Η αντίσταση και η αντίδραση του ακινητοποιημένου δρομέα θα είναι:

$$R_{LR} = R_1 + R_2 \qquad X_{LR} = X'_1 + X'_2$$

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Η αντίσταση τώρα του δρομέα υπολογίζεται $R_2 = R_{LR} - R_1$ όπου η R_1 υπολογίστηκε από το πείραμα ανοιχτού κυκλώματος
- Μπορεί επίσης να προσδιοριστεί η ανηγμένη στο στάτη ολική αντίδραση του δρομέα
- Επειδή η αντίδραση είναι ανάλογη η ισοδύναμη ολική αντίδραση στην κανονική συχνότητα λειτουργίας μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση
$$X_{LR} = \frac{f_{rated}}{f_{test}} X'_{LR} = X_1 + X_2$$
- Δυστυχώς δεν υπάρχει κάποιος απλός τρόπος για τον ξεχωριστό υπολογισμό της συνεισφοράς των αντιδράσεων του δρομέα και του στάτη στη συνολική αντίδραση του κινητήρα

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

- Μετά από πολλά χρόνια η εμπειρία έχει δείξει πως οι κινητήρες με συγκεκριμένο τρόπο σχεδίασης παρουσιάζουν συγκεκριμένη αναλογία μεταξύ των αντιδράσεων του στάτη και του δρομέα
- Στην καθημερινή πρακτική δεν παίζει ρόλο ο τρόπος που διαχωρίζεται η X_{LR} αφού η αντίδραση σε όλες τις εξισώσεις της ροπής εμφανίζεται ως άθροισμα των X_1 και X_2

Rotor Design	X_1 and X_2 as functions of X_{LR}	
	X_1	X_2
Wound rotor	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$
Design A	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$
Design B	$0.4 X_{LR}$	$0.6 X_{LR}$
Design C	$0.3 X_{LR}$	$0.7 X_{LR}$
Design D	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$