



Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχ. & Μηχ. Η/Υ

Ηλεκτρικές Μηχανές II

Μάθημα 9^ο

Σύγχρονοι Κινητήρες – Μέρος Β΄

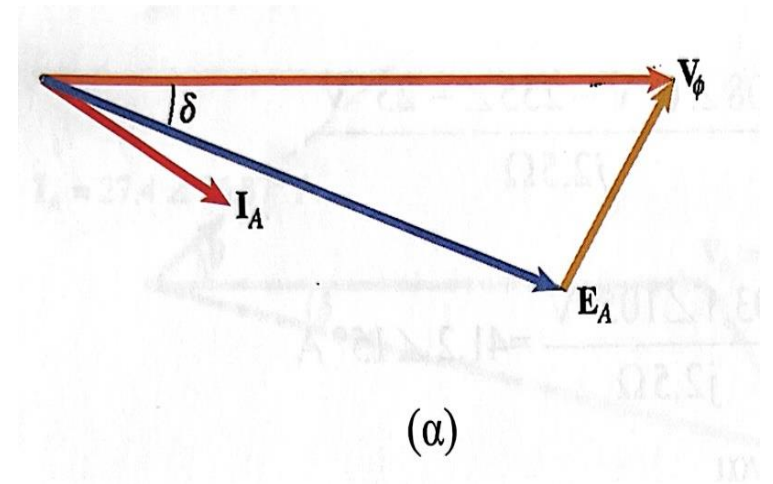
Γιώργος Ορφανουδάκης

Περιεχόμενα μαθήματος

1. Επίδραση των Μεταβολών του Ρεύματος Διέγερσης σ' έναν Σύγχρονο Κινητήρα
2. Σύγχρονοι Κινητήρες και Διόρθωση του Συντελεστή Ισχύος
3. Σύγχρονος Πυκνωτής - Σύγχρονη Χωρητικότητα

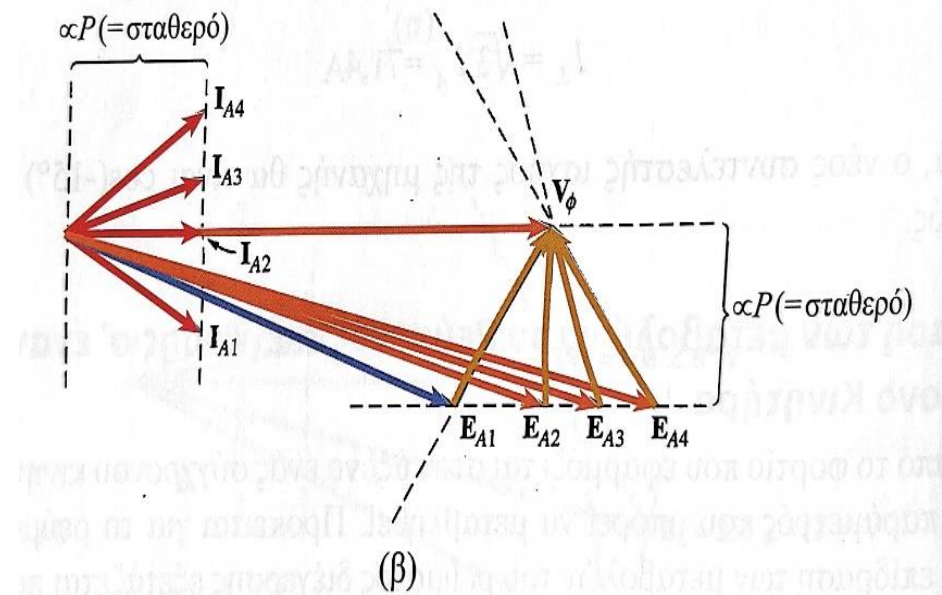
Επίδραση των Μεταβολών του Ρεύματος Διέγερσης

- Στο σχήμα (α) φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα ενός κινητήρα στον οποίο πρόκειται να αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης
- Η αύξηση του ρεύματος διέγερσης προκαλεί αύξηση της τάσης \mathbf{E}_A
- Η ισχύς εξόδου του κινητήρα δεν επηρεάζεται επειδή
 - Δε μεταβάλλεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
 - Η ροπή του φορτίου θεωρείται σταθερή
- Επίσης, η τάση εισόδου V_Φ , είναι σταθερή αφού αυτή καθορίζεται από την πηγή τροφοδοσίας του κινητήρα



Επίδραση των Μεταβολών του Ρεύματος Διέγερσης σ' έναν Σύγχρονο Κινητήρα

- Τα ευθύγραμμα τμήματα $E_A \sin \delta$ και $I_A \cos \theta$, που είναι ανάλογα της ισχύος, παραμένουν σταθερά κατά τη μεταβολή του ρεύματος διέγερσης
- Αν το ρεύμα διέγερσης αυξάνεται, η E_A αυξάνεται
 - αλλά στο διανυσματικό διάγραμμα έχει πάντα το άκρο της πάνω στην **ευθεία σταθερής ισχύος**
- Καθώς η E_A αυξάνεται, το ρεύμα οπλισμού I_A αρχικά μειώνεται και κατόπιν αυξάνεται ξανά
- Όταν η E_A έχει μικρές τιμές, το ρεύμα του οπλισμού είναι επαγωγικό και ο κινητήρας είναι, για το κύκλωμα τροφοδοσίας του, ένα επαγωγικό φορτίο

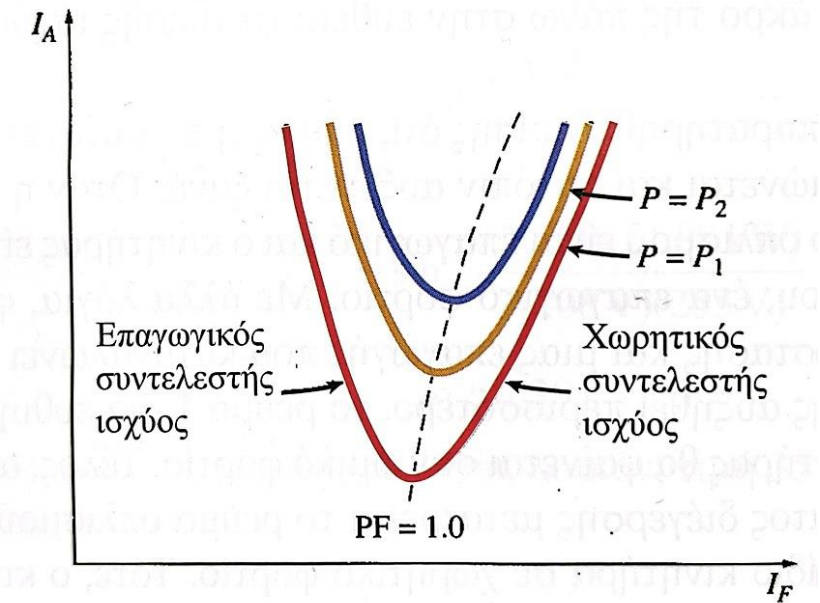


Επίδραση των Μεταβολών του Ρεύματος Διέγερσης σ' έναν Σύγχρονο Κινητήρα

- ... άρα φαίνεται σαν συνδυασμός μιας αντίστασης και μιας επαγωγής που **καταναλώνει** άεργο ισχύ Q
- Αν το ρεύμα διέγερσης αυξηθεί, το ρεύμα I_A θα ευθυγραμμιστεί με την τάση V_Φ και ο κινητήρας θα φαίνεται σαν ωμικό φορτίο
- Ακόμα μεγαλύτερη αύξηση του ρεύματος διέγερσης μετατρέπει το ρεύμα οπλισμού του κινητήρα σε χωρητικό και τον ίδιο κινητήρα σε χωρητικό φορτίο
- Τότε ο κινητήρας φαίνεται σαν συνδυασμός μιας αντίστασης και μιας χωρητικότητας που **προσφέρει** άεργο ισχύ Q στο κύκλωμα τροφοδοσίας του

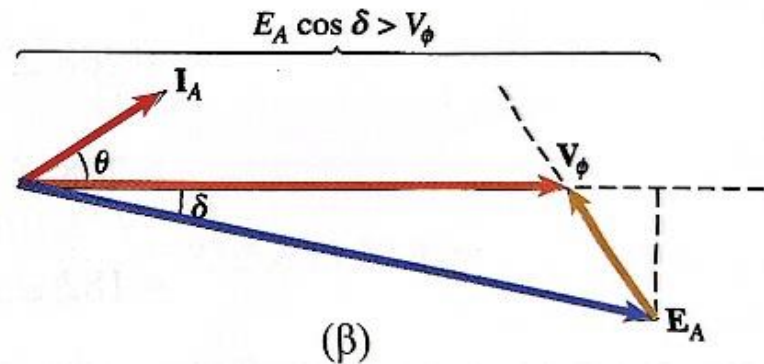
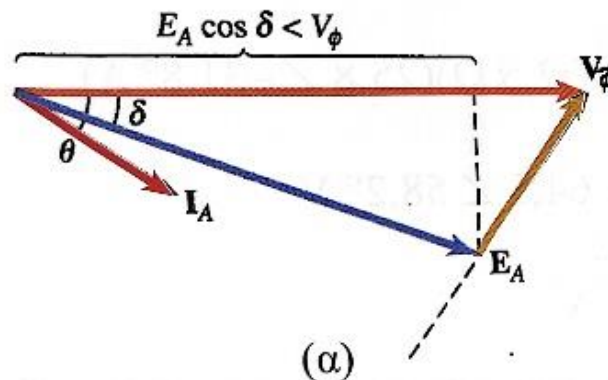
Καμπύλες V

- Καμπύλες V: Γραφική παράσταση του ρεύματος οπλισμού, I_A του κινητήρα συναρτήσει του ρεύματος διέγερσής του, I_F
- Η κάθε καμπύλη V αντιστοιχεί σε διαφορετικό ποσό κατανάλωσης ενεργού ισχύος
- Στο χαμηλότερο σημείο μιας τέτοιας καμπύλης (ελάχιστο ρεύμα οπλισμού) αντιστοιχεί η περίπτωση που ο κινητήρας καταναλώνει αποκλειστικά ενεργό ισχύ, δηλ. συμπεριφέρεται σαν ωμικό φορτίο
- Σε οποιοδήποτε άλλο σημείο της καμπύλης ο κινητήρας προσφέρει ή καταναλώνει άεργο ισχύ
- Όταν το ρεύμα διέγερσης είναι **μεγαλύτερο** από αυτό που προκαλεί το ελάχιστο ρεύμα οπλισμού, ο κινητήρας **προσφέρει** άεργο ισχύ (στην πηγή τροφοδοσίας του)



Επίδραση των Μεταβολών του Ρεύματος Διέγερσης σ' έναν Σύγχρονο Κινητήρα

- Το συμπέρασμα είναι ότι η άεργος ισχύς που καταναλώνει ή που προσφέρει στο δίκτυο ένας σύγχρονος κινητήρας **είναι δυνατό να ρυθμιστεί** μέσω του ρεύματος διέγερσής του
 - Όταν η προβολή της E_A πάνω στη V_ϕ (δηλαδή η $E_A \cos \delta$) είναι μικρότερη από την ίδια τη V_ϕ , τότε ο σύγχρονος κινητήρας φαίνεται σαν επαγωγικό φορτίο που καταναλώνει άεργο ισχύ
 - Σ' αυτή τη περίπτωση (α) ο κινητήρας λέγεται ότι λειτουργεί με υποδιέγερση, επειδή ακριβώς το ρεύμα διέγερσης του είναι σχετικά χαμηλό
 - Στην αντίθετη περίπτωση (β) ο κινητήρας λέγεται ότι λειτουργεί με υπερδιέγερση



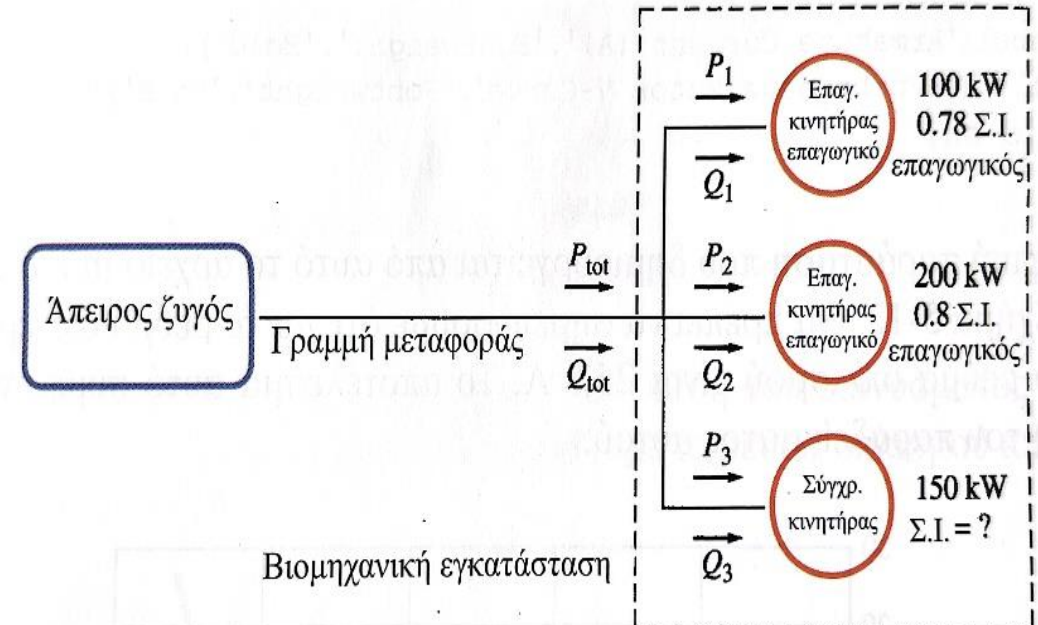
Παράδειγμα 5-2

Ο σύγχρονος κινητήρας του προηγούμενου παραδείγματος έχει ονομαστικά στοιχεία 208 V, 60 Hz και 45 hp με αντίστοιχο συντελεστή ισχύος 0,8 χωρητικό. Εδώ ο κινητήρας θεωρείται ότι κινεί κάποιο φορτίο ισχύος 15 hp, ενώ ο αντίστοιχος συντελεστής ισχύος είναι 0,85 επαγωγικός. Το ρεύμα διέγερσης I_F στις συνθήκες αυτές είναι 4,0 A.

1. Να σχεδιαστεί το διανυσματικό διάγραμμα του κινητήρα στην παραπάνω περίπτωση και να υπολογιστούν οι ποσότητες I_A , και E_A .
2. Αν η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα αυξηθεί κατά 25%, ποιο θα είναι το καινούριο διανυσματικό διάγραμμα; Να υπολογιστούν και πάλι οι ποσότητες I_A , και E_A , καθώς και ο συντελεστής ισχύος.
3. Υποθέστε ότι η μαγνητική ροή στον κινητήρα μεταβάλλεται γραμμικά με το ρεύμα διέγερσης I_F . Παρουσιάστε γραφικά το I_A έναντι του I_F για τον σύγχρονο κινητήρα με φορτίο 15 – hp.

Σύγχρονοι Κινητήρες και Διόρθωση του Συντελεστή Ισχύος

- Στον άπειρο ζυγό του σχήματος, μέσω μιας γραμμής μεταφοράς ισχύος συνδέεται κάποια βιομηχανία
- Οι δυο από τους τρεις αυτούς κινητήρες αυτής της βιομηχανίας είναι επαγωγικοί και διαθέτουν επαγωγικούς συντελεστές ισχύος,
- Ο τρίτος είναι σύγχρονος κινητήρας με μεταβλητό συντελεστή ισχύος



Παράδειγμα 5-3

Η τάση λειτουργίας του άπειρου ζυγού στο παραπάνω σχήμα είναι 480 V . Το φορτίο 1 είναι ένας επαγωγικός κινητήρας που καταναλώνει ισχύ 100 kW και έχει συντελεστή ισχύος $0,78$ επαγωγικό. Το φορτίο 2 είναι επίσης ένας επαγωγικός κινητήρας που καταναλώνει ισχύ 200 kW και έχει συντελεστή ισχύος $0,8$ επαγωγικό. Τέλος το φορτίο 3 είναι ένας σύγχρονος κινητήρας που καταναλώνει 150 kW .

1. Αν ο συντελεστής ισχύος του σύγχρονου κινητήρα ρυθμιστεί, ώστε να είναι $0,85$ επαγωγικός, ποιο θα είναι το ρεύμα της γραμμής μεταφοράς;
2. Αν ο συντελεστής ισχύος του σύγχρονου κινητήρα ρυθμιστεί, ώστε να είναι $0,85$ χωρητικός, ποιο θα είναι σ' αυτή την περίπτωση το ρεύμα της γραμμής μεταφοράς;
3. Έστω ότι οι απώλειες της γραμμής μεταφοράς ισχύος του συστήματος δίνονται από τη σχέση $P_{LL} = 3I_L^2 R_L$, να συγκριθούν οι απώλειες μεταφοράς που υπολογίστηκαν στις δυο προηγούμενες περιπτώσεις.

Σύγχρονοι Κινητήρες και Διόρθωση του Συντελεστή Ισχύος

- Άρα, η δυνατότητα μεταβολής του συντελεστή ισχύος ενός ή περισσότερων φορτίων κάποιου συστήματος επηρεάζει σημαντικά την απόδοσή του
- Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής ισχύος του συνολικού συστήματος, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες στη γραμμή μεταφοράς που το τροφοδοτεί
- Επειδή ένα σύστημα ισχύος περιέχει οπωσδήποτε κάποιες επαγωγικές μηχανές, ο συντελεστής ισχύος του θα είναι μόνιμα επαγωγικός
- Έτσι η χρήση κάποιων χωρητικών φορτίων (σύγχρονων κινητήρων σε υπερδιέγερση) στο σύστημα είναι πολύ σημαντική διότι το χωρητικό φορτίο τροφοδοτεί τα γειτονικά του φορτία με άεργο ισχύ, όπως ακριβώς και η γεννήτρια
- Η διαφορά είναι ότι αυτή η άεργος ισχύς δε μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, κι έτσι το ρεύμα της γραμμής μεταφοράς του συστήματος παραμένει χαμηλό, όπως και οι αντίστοιχες απώλειες

Σύγχρονοι Κινητήρες και Διόρθωση του Συντελεστή Ισχύος

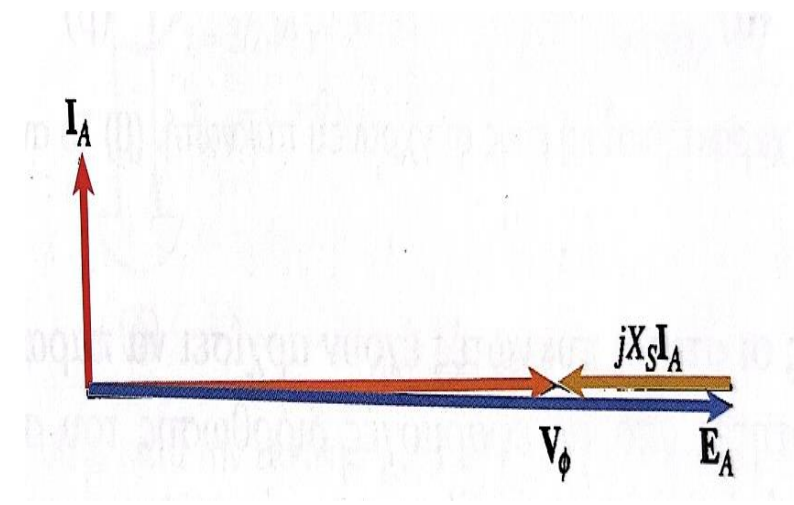
- Επειδή το ρεύμα που μεταφέρουν οι γραμμές μεταφοράς του συστήματος είναι χαμηλότερο, η διατομή τους επιτρέπεται να είναι μικρότερη για μια δεδομένη τιμή της ονομαστικής ισχύος του συστήματος
 - Αυτό σημαίνει **μείωση του κόστους** κατασκευής της αντίστοιχης γραμμής μεταφοράς
- Επίσης, επειδή ο σύγχρονος κινητήρας λειτουργεί με χωρητικό συντελεστή ισχύος, δουλεύει με υπερδιέγερση.
 - Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την **αύξηση της μέγιστης ροπής** του κινητήρα και άρα τη μείωση της πιθανότητας αποσυγχρονισμού του
- Η προσπάθεια να αυξηθεί ο συντελεστής ισχύος ενός συστήματος με σύγχρονους κινητήρες ή με άλλες μεθόδους ονομάζεται **διόρθωση του συντελεστή ισχύος**

Σύγχρονοι Κινητήρες και Διόρθωση του Συντελεστή Ισχύος

- Άν και οι σύγχρονοι κινητήρες είναι πιο ακριβοί από τους επαγωγικούς, η ικανότητα τους να λειτουργούν με χωρητικό συντελεστή ισχύος τους κάνει εμπορεύσιμους και αποδοτικούς για βιομηχανικά δίκτυα όπου είναι απαραίτητη η διόρθωση του συντελεστή ισχύος
- Όλες οι σύγχρονες μηχανές λειτουργούν σε υπερδιέγερση, τόσο για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος, όσο και για την αύξηση της μέγιστης ροπής τους
- Αυτό όμως σημαίνει πως το ρεύμα διέγερσης τους θα είναι αρκετά υψηλό
- Γι' αυτό το λόγο πάντα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το **όριο υπερθέρμανσης** του τυλίγματος του δρομέα τους και ποτέ το ρεύμα διέγερσης δεν πρέπει να υπερβαίνει την ονομαστική του τιμή

Σύγχρονος Πυκνωτής - Σύγχρονη Χωρητικότητα

- Μπορεί ένας σύγχρονος κινητήρας να λειτουργεί χωρίς κανένα απολύτως φορτίο και έχοντας μοναδικό του σκοπό τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος
- Το διανυσματικό διάγραμμα ενός τέτοιου κινητήρα που λειτουργεί με υπερδιέγερση χωρίς φορτίο, φαίνεται στο σχήμα
- Οι αποστάσεις $E_A \sin \delta$ και $I_A \cos \theta$ που αντιστοιχούν στην ισχύ που καταναλώνει ο κινητήρας, είναι μηδενικές
- Όμως ο νόμος των τάσεων του Kirchhoff για το σύγχρονο κινητήρα δίνεται από τη σχέση: $\mathbf{V}_\Phi = \mathbf{E}_A + jX_S \mathbf{I}_A$
- Το διάνυσμα $jX_S \mathbf{I}_A$ έχει φορά προς τ' αριστερά, οπότε το \mathbf{I}_A θα έχει φορά προς τα πάνω
- Τα \mathbf{V}_Φ και \mathbf{I}_A φαίνονται στο διανυσματικό διάγραμμα όπως ακριβώς η τάση και το ρεύμα ενός πυκνωτή

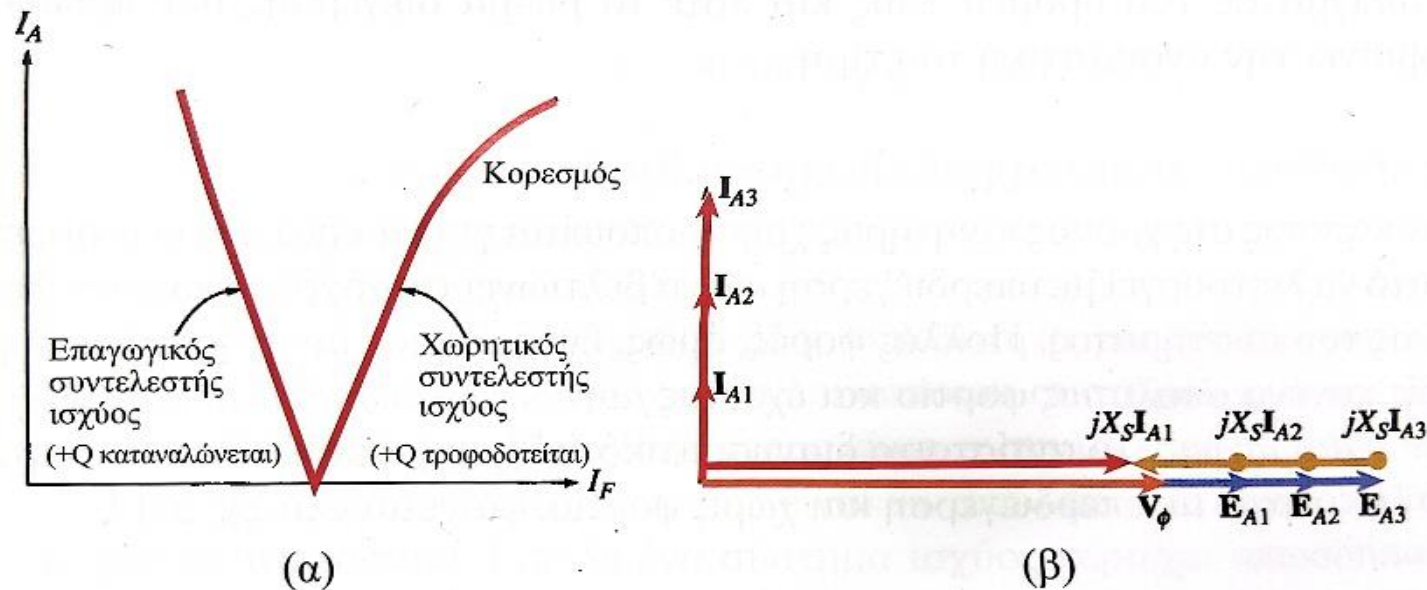


Σύγχρονος Πυκνωτής - Σύγχρονη Χωρητικότητα

- Άρα, για το σύστημα ισχύος ο κινητήρας φαίνεται σαν ένας μεγάλος πυκνωτής
- Αρκετοί σύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται στις μέρες μας αποκλειστικά για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος ενός συστήματος
- Μερικές φορές είναι αδύνατη η σύνδεση κάποιου φορτίου στα άκρα τους, επειδή ο άξονας τους δε βγαίνει καν έξω από το πλαίσιο της μηχανής
- Τέτοιου είδους κινητήρες συνήθως ονομάζονται **σύγχρονοι πυκνωτές ή σύγχρονες χωρητικότητες**
- Στις μέρες μας οι στατοί πυκνωτές (STATCOM) έχουν αρχίσει να παραγκωνίζουν τις σύγχρονες χωρητικότητες από τις εφαρμογές διόρθωσης του συντελεστή ισχύος

Σύγχρονος Πυκνωτής - Σύγχρονη Χωρητικότητα

- Στο σχήμα (α) παρακάτω φαίνεται η V χαρακτηριστική ενός σύγχρονου πυκνωτή
- Καθώς το ρεύμα διέγερσης του κινητήρα αυξάνεται (μαζί με την άεργο ισχύ που αυτός παράγει), το ρεύμα του οπλισμού του αυξάνεται επίσης
- Στο σχήμα (β) φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα ενός σύγχρονου πυκνωτή και σημειώνονται τα αποτελέσματα της αύξησης του ρεύματος διέγερσής του



Σχετικό υλικό

- Από το βιβλίο «Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC», Stephen J. Chapman, εκδ. Τζιόλα, 5^η έκδ.
 - Κεφάλαιο 5, Παράγραφοι 5.1 έως 5.2