



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

Ηλεκτρικές Μηχανές II

Μάθημα 5^ο

Σύγχρονες Γεννήτριες

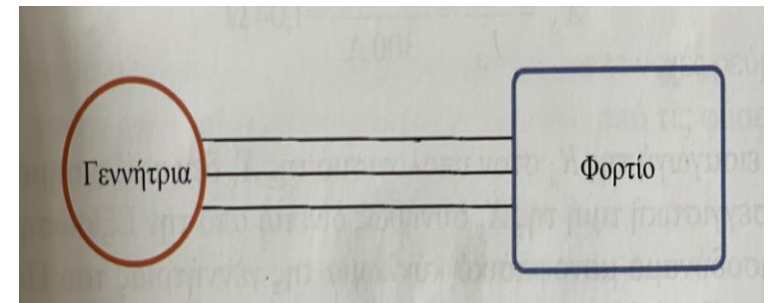
Γιώργος Ορφανουδάκης

Περιεχόμενα μαθήματος

1. Αυτόνομη Λειτουργία
2. Παραλληλισμός Γεννητριών Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Αυτόνομη Λειτουργία Σύγχρονης Γεννήτριας

- Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά μιας σύγχρονης γεννήτριας
 - Συντελεστής ισχύος του φορτίου της
 - Εάν λειτουργεί αυτόνομα ή σε συνεργασία με άλλες γεννήτριες
- Θα εξεταστεί η **αυτόνομη** λειτουργία
 - Για τα διανυσματικά διαγράμματα αγνοείται η R_A
 - Η ταχύτητα των γεννητριών θεωρείται σταθερή
 - Η μαγνητική ροή του πεδίου του δρομέα θεωρείται σταθερή, εκτός από τις περιπτώσεις που το ρεύμα του δρομέα μεταβάλλεται σημαντικά



Συμπεριφορά Σύγχρονης Γεννήτριας κατά την Αύξηση του Φορτίου της

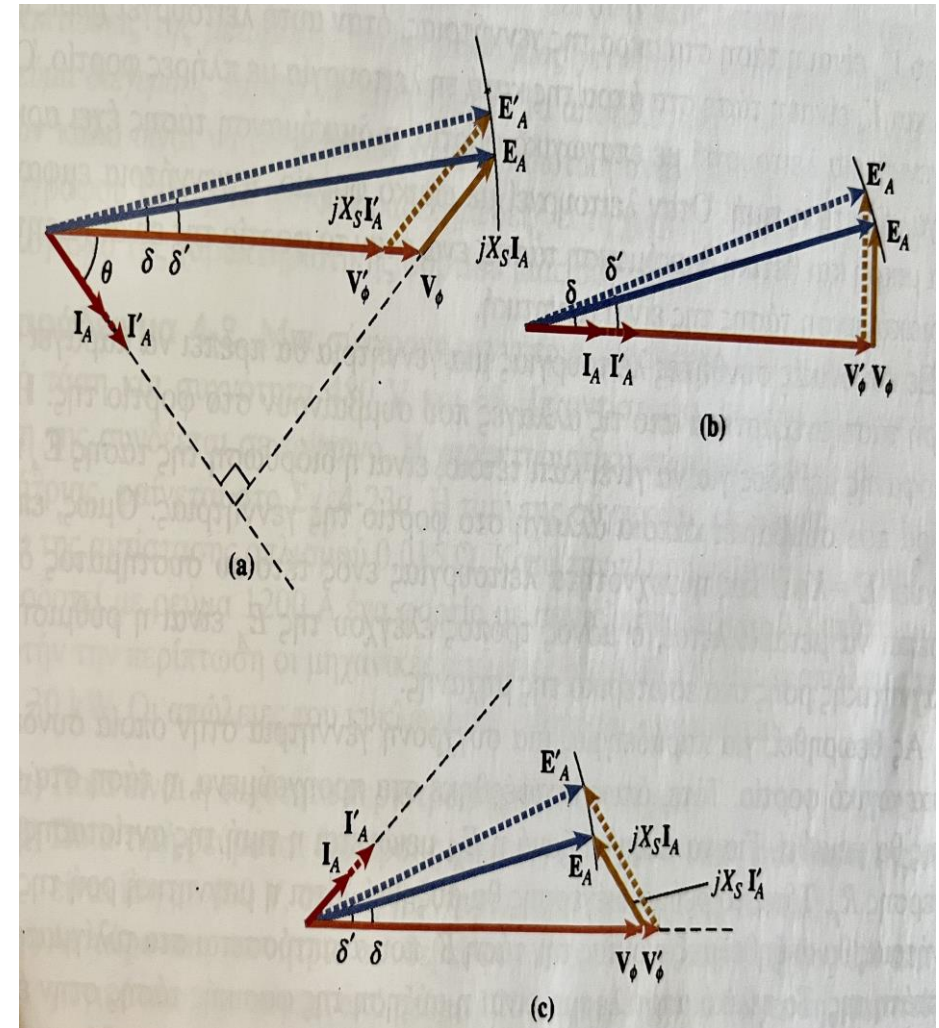
- Κατά την αύξηση του φορτίου, αυξάνεται η ενεργός και/ή η άεργος ισχύς εξόδου της γεννήτριας, καθώς και το ρεύμα με το οποίο τροφοδοτεί το συγκεκριμένο φορτίο
- Στο κύκλωμα διέγερσης δε συμβαίνει καμία αλλαγή, οπότε τόσο το ρεύμα διέγερσης, όσο και η μαγνητική ροή στο εσωτερικό της παραμένουν **σταθερά**
- Η ταχύτητα της κινητήριας μηχανής δεν αλλάζει, οπότε το πλάτος της τάσης που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας $E_A = K\Phi\omega$ παραμένει **σταθερό**

Συμπεριφορά Σύγχρονης Γεννήτριας κατά την Αύξηση του Φορτίου της – Επαγωγικό φορτίο

- Αρχικά το φορτίο της γεννήτριας θα θεωρηθεί επαγωγικό
- Αν το φορτίο αυτό αυξηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε ο συντελεστής ισχύος του να παραμείνει σταθερός, το **μέτρο** του ρεύματος I_A θα αυξηθεί, ενώ η **φάση** του (μετριέται με αναφορά το διάνυσμα V_Φ) δε θα μεταβληθεί
- Αυτό σημαίνει ότι η πτώση τάσης λόγω της αντίδρασης σπλισμού $jX_S I_A$ θα αυξηθεί επίσης, διατηρώντας όμως σταθερή τη φάση της
- Επειδή $E_A = V_\Phi + jX_S I_A$, το διάνυσμα $jX_S I_A$ θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των E_A και V_Φ
- Όμως η E_A (σαν μέτρο) πρέπει να παραμείνει στην τιμή που είχε πριν την αύξηση του φορτίου
- Με την αύξηση του φορτίου παρατηρείται σημαντική **μείωση** της τάσης V_Φ (Σχήμα α)

Συμπεριφορά Σύγχρονης Γεννήτριας κατά την Αύξηση του Φορτίου της – Ωμικό / Χωρητικό φορτίο

- Σχήμα (β): Αύξηση ωμικού φορτίου
- Προκαλεί **μικρή μείωση** στην τάση V_{Φ}
- Σχήμα (γ): Αύξηση χωρητικού φορτίου (διατηρώντας σταθερό το συντελεστή ισχύος του)
- Προκαλεί **αύξηση** της τάσης V_{Φ} (!)



Διακύμανση Τάσης

- Για τη σύγκριση δύο σύγχρονων γεννητριών με αναφορά στη συμπεριφορά της τάσης στα άκρα τους χρησιμοποιείται συχνά το μέγεθος της διακύμανσης τάσης (voltage regulation):

$$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\%$$

- V_{nl} (no load) η τάση στα άκρα της γεννήτριας όταν αυτή λειτουργεί χωρίς φορτίο και
- V_{fl} (full load) η τάση στα άκρα της κατά τη λειτουργία της με πλήρες φορτίο
- Όταν η γεννήτρια λειτουργεί με
 - επαγωγικό φορτίο, η διακύμανση τάσης έχει αρκετά μεγάλη θετική τιμή
 - ωμικό φορτίο, η διακύμανση τάσης έχει μικρή θετική τιμή
 - χωρητικό φορτίο, η διακύμανση τάσης είναι αρνητική

Μέθοδος Διατήρησης Σταθερής Τάσης Εξόδου

- Ιδανικά, μια γεννήτρια θα πρέπει να παράγει σταθερή τάση ανεξάρτητα από τις αλλαγές που συμβαίνουν στο φορτίο της
- Απαιτείται διόρθωση της τάσης E_A κάθε φορά που συμβαίνει κάποια αλλαγή στο φορτίο της γεννήτριας
- Όμως επειδή ισχύει $E_A = K\Phi\omega$ και η συχνότητα ω δεν πρέπει να μεταβάλλεται, ο μόνος τρόπος ελέγχου της E_A είναι η **ρύθμιση της μαγνητικής ροής Φ** στο εσωτερικό της μηχανής
- Αν π.χ. σε μια σύγχρονη γεννήτρια συνδεθεί επαγωγικό φορτίο, η τάση στα άκρα της θα μειωθεί
- Για να αυξηθεί ξανά η E_A , πρέπει να μειωθεί η τιμή της (ρυθμιστικής) αντίστασης διέγερσης R_F
- Τότε το ρεύμα διέγερσης θα αυξηθεί, και η μαγνητική ροή της γεννήτριας θα αυξηθεί αυξάνοντας την τάση E_A και επαναφέροντας τη V_Φ στην αρχική της τιμή

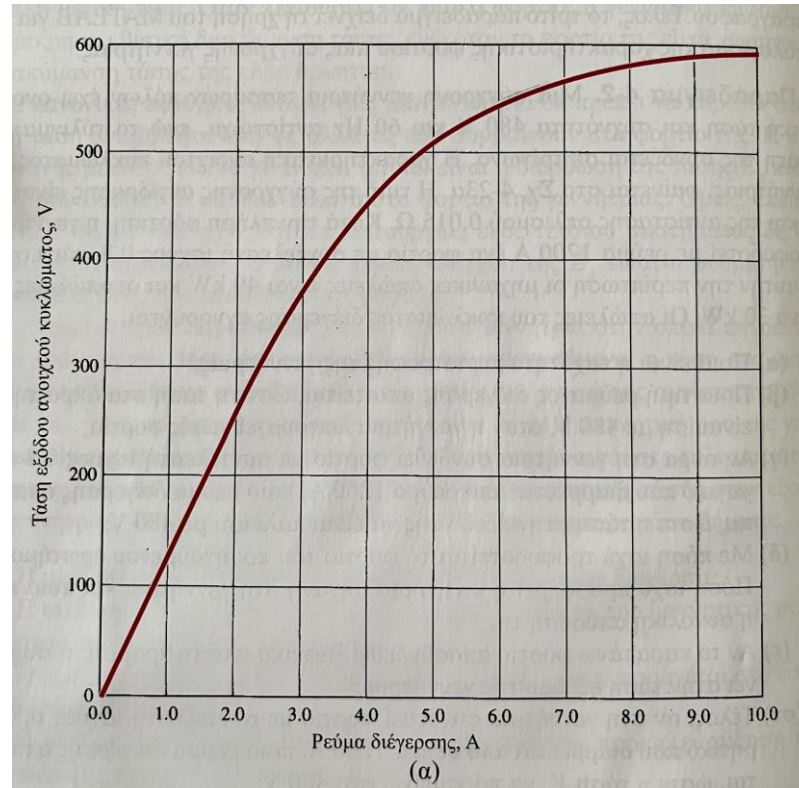
Παράδειγμα 4-2

Μια σύγχρονη γεννήτρια τεσσάρων πόλων έχει ονομαστική τάση και συχνότητα 480 V και 60 Hz αντίστοιχα, ενώ το τύλιγμα του στάτη της συνδέεται σε τρίγωνο. Η χαρακτηριστική ανοιχτού κυκλώματος της γεννήτριας φαίνεται στο σχήμα (α) που ακολουθεί. Η τιμή της σύγχρονης αντίδρασης είναι $0,1\Omega$ και της αντίστασης οπλισμού $0,015\Omega$. Κατά την πλήρη φόρτιση, η γεννήτρια τροφοδοτεί με ρεύμα 1200 A ένα φορτίο με συντελεστή ισχύος $0,8$ επαγωγικό. Σ' αυτή την περίπτωση οι μηχανικές απώλειες είναι 40 kW και οι απώλειες πυρήνα 30 kW . Οι απώλειες του κυκλώματος διέγερσης αγνοούνται.

1. Ποια είναι η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας;
2. Ποια τιμή ρεύματος διέγερσης απαιτείται, ώστε η τάση στα άκρα της να είναι ίση με 480 V , όταν η γεννήτρια λειτουργεί χωρίς φορτίο;
3. Αν τώρα στη γεννήτρια συνδεθεί φορτίο με συντελεστή ισχύος $0,8$ επαγωγικό που διαρρέεται από ρεύμα 1200 A , ποιο ρεύμα διέγερσης απαιτείται, ώστε η τάση στην έξοδο της να είναι πάλι ίση με 480 V ;
4. Με πόση ισχύ τροφοδοτείται το φορτίο του προηγούμενου ερωτήματος; Πόση ισχύς προσφέρει η κινητήρια μηχανή στη γεννήτρια και ποια είναι η συνολική απόδοσή της;

Παράδειγμα 4-2 (2)

5. Αν το παραπάνω φορτίο αποσυνδεθεί ξαφνικά από τη γραμμή, τι συμβαίνει στην τάση εξόδου της γεννήτριας;
6. Τέλος, αν στη γεννήτρια συνδεθεί φορτίο με συντελεστή ισχύος $0,8$ χωρητικό που διαρρέεται από ρεύμα 1200A , πόσο ρεύμα διέγερσης απαιτείται, ώστε η τάση V_T να παραμείνει στα 480V ;



Παράδειγμα 4-3

Μια γεννήτρια έξι πόλων με ονομαστική τάση και συχνότητα 480 V και 50 Hz αντίστοιχα, είναι συνδεδεμένη σε αστέρα, ενώ η αντίδρασης οπλισμού είναι $1,0\Omega$ ανά φάση. Το ρεύμα της στην πλήρη φόρτιση, όταν ο συντελεστής ισχύος του φορτίου της είναι $0,8$ επαγωγικό, έχει τιμή 60 A . Οι μηχανικές απώλειες και οι απώλειες πυρήνα υπό πλήρες φορτίο, είναι $1,5\text{ kW}$ και $1,0\text{ kW}$, αντίστοιχα, στα 50 Hz υπό πλήρες φορτίο. Επειδή, όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, η αντίσταση οπλισμού εδώ αγνοείται, οι απώλειες χαλκού θα θεωρηθούν αμελητέες. Το ρεύμα διέγερσης έχει ρυθμιστεί έτσι, ώστε η τάση εξόδου της γεννήτριας να είναι 480 V στη λειτουργία χωρίς φορτίο.

- 1) Ποια είναι η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας;
- 2) Ποια είναι η τιμή της τάσης στα άκρα της γεννήτριας στις παρακάτω περιπτώσεις;
 1. Όταν το φορτίο της έχει συντελεστή ισχύος $0,8$ επαγωγικό και τροφοδοτείται με ονομαστικό ρεύμα
 2. Όταν το φορτίο της έχει συντελεστή ισχύος $1,0$ και τροφοδοτείται με ονομαστικό ρεύμα
 3. Όταν το φορτίο της έχει συντελεστή ισχύος $0,8$ χωρητικό και τροφοδοτείται με ονομαστικό ρεύμα

Παράδειγμα 4-3.

- 3) Ποια είναι η απόδοση της γεννήτριας όταν τροφοδοτεί με το ονομαστικό της ρεύμα κάποιο φορτίο με συντελεστή ισχύος $0,8$ επαγωγικό; (Οι άγνωστες ηλεκτρικές απώλειες αγνοούνται)
- 4) Ποια η ροπή που προσφέρεται στη γεννήτρια κατά την πλήρη φόρτιση; Ποια η επαγόμενη ροπή της;
- 5) Ποια η διακύμανση τάσης της μηχανής, όταν ο συντελεστής ισχύος του φορτίου της είναι $0,8$ επαγωγικός / 1 / $0,8$ χωρητικός;

Παράδειγμα 4-4

Ας υποθέσουμε ότι η γεννήτρια του Παραδείγματος 4-3 λειτουργεί χωρίς φορτίο με τάση στην έξοδο 480 V . Παρουσιάστε γραφικά τα τελικά χαρακτηριστικά (τάση εξόδου συναρτήσει του ρεύματος γραμμής) της συγκεκριμένης γεννήτριας καθώς το ρεύμα οπλισμού της μεταβάλλεται από την κατάσταση χωρίς φορτίο σε κατάσταση πλήρους φορτίου, με συντελεστή ισχύος:

(α) $0,8$ επαγωγικό και

(β) $0,8$ χωρητικό

Ας υποθέσουμε ότι το ρεύμα διέγερσης παραμένει σταθερό σε κάθε στιγμή.

Σχετικό υλικό

- Από το βιβλίο «Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC», Stephen J. Chapman, εκδ. Τζιόλα, 5^η έκδ.
 - Κεφάλαιο 4, Παράγραφος 4.8
- Να μελετηθούν και οι **Προϋποθέσεις** και **Διαδικασία** Παραλληλισμού σύγχρονων γεννητριών, από την Παράγραφο 4.9