



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ηλεκτρικές Μηχανές II

Ενότητα 2: Εισαγωγή στη Σύγχρονη Μηχανή

Επ. Καθηγήτρια Τζόγια Χ. Καππάτου

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας
Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα

- Βασική κατασκευή
- Τύποι σύγχρονων μηχανών
- Ψύξη
- Διέγερση

Σύγχρονη μηχανή ως γεννήτρια 1

- Η σύγχρονη μηχανή χρησιμοποιούμενη ως γεννήτρια είναι η σπουδαιότερη μηχανή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Αποτελεί το επίκεντρο κάθε σταθμού (θερμικού, υδροηλεκτρικού, πυρηνικού κ.α) παραγωγής μονοφασικού ή τριφασικού ρεύματος.

Σύγχρονη μηχανή ως γεννήτρια 2

- Από μερικά kVA ως τα 2000MVA.

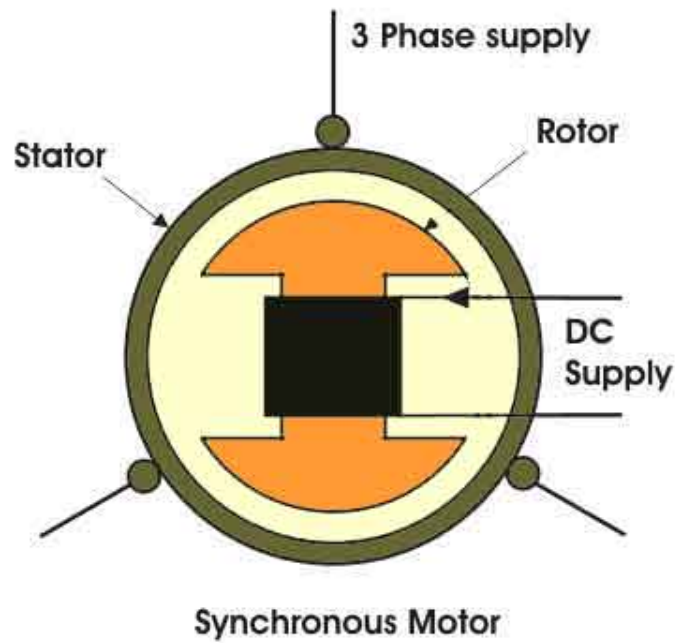


Δρομέας σύγχρονης γεννήτριας του μεγαλύτερου εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Κίνα, Three Gorges Dam). [1]

Βασική δομή 1

- Η Σύγχρονη Μηχανή αποτελείται:
- από τον στάτη που φέρει ένα τριφασικό τύλιγμα
- από τον δρομέα, που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα

Βασική δομή 2



Σκίτσο τριφασικής σύγχρονης μηχανής [2]

Στάτης 1



Κατασκευή στάτη σύγχρονης μηχανής [3]

Σύγχρονος αριθμός στροφών 1

- Ο χαρακτηρισμός «σύγχρονη» προέρχεται από το γεγονός, ότι ο δρομέας στρέφεται σύγχρονα με την ίδια ταχύτητα με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται από τη διέγερση του συνεχούς ρεύματος

Σύγχρονος αριθμός στροφών 2

- Όπως στην Α.Μ. έτσι και εδώ ισχύει ο γνωστός τύπος για τον σύγχρονο αριθμό στροφών, δηλαδή για τον αριθμό στροφών του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου:

$$n_s = \frac{f_s}{p}$$

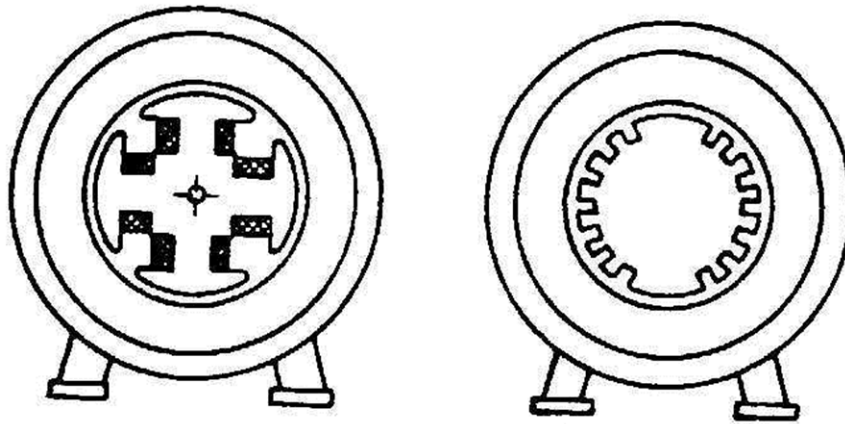
- Στην περίπτωση που για διαφόρους λόγους δεν ικανοποιείται η παραπάνω σχέση, λέμε ότι η Σ.Μ. «αποσυγχρονίζεται». Η κατάσταση αυτή δεν μπορεί να είναι μόνιμη, διότι επέρχονται βλάβες και η μηχανή παύει να λειτουργεί.

Σύγχρονος αριθμός στροφών 3

- Ο σύγχρονος αριθμός στροφών για δεδομένη συχνότητα εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των πόλων και διατηρείται σταθερός (όταν πρόκειται για γεννήτρια) με τη βοήθεια της κινητήριας μηχανής.
- Ως κινητήριες μηχανές χρησιμοποιούνται συνήθως ατμοστρόβιλοι, υδροστρόβιλοι, αεροστρόβιλοι και μερικές φορές μηχανές εσωτερικής καύσης.

Είδη σύγχρονων μηχανών με βάση τον τύπο του δρομέα 1

- Με έκτυπους πόλους
- Με κατανεμημένο τύλιγμα



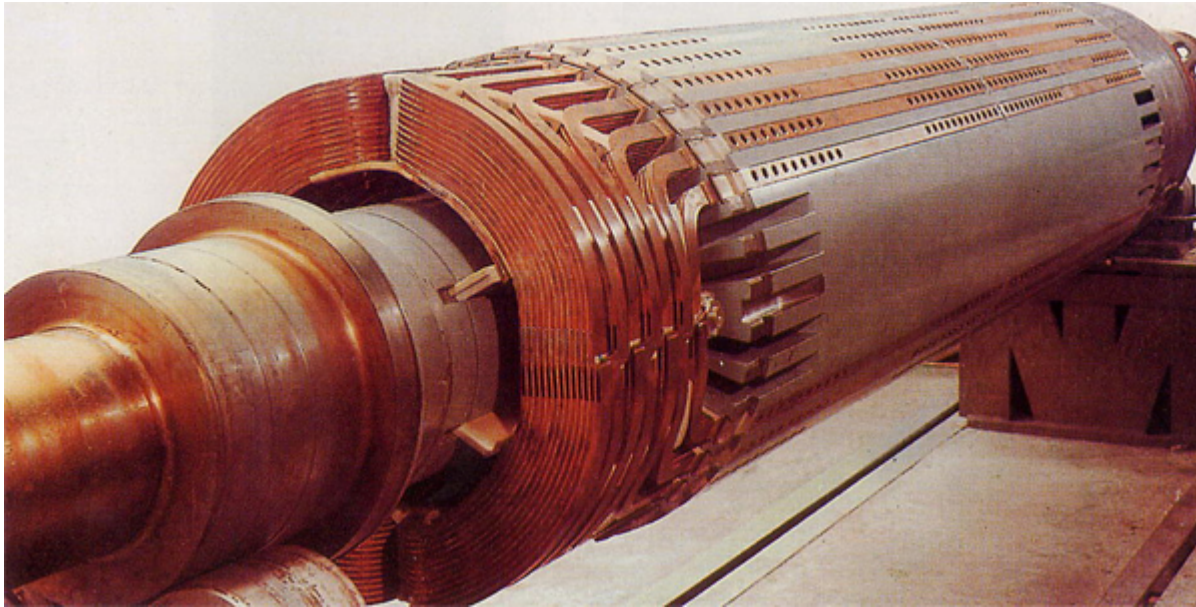
Σχηματική αναπαράσταση [4]

Δρομέας 1



Δρομέας σύγχρονης μηχανής κατά την κατασκευή
[3]

Δρομέας 2



Δρομέας σύγχρονης μηχανής [3]

Δρομέας 3



Δρομέας σύγχρονης μηχανή έκτυπων πόλων [3]

Είδη σύγχρονων μηχανών με βάση τον τύπο του δρομέα 2

- Οι σύγχρονες μηχανές έκτυπων πόλων έχουν εξέχοντες πόλους, γύρω από τους οποίους τυλίγεται το τύλιγμα διέγερσης.
- Στις σύγχρονες μηχανές με κατανεμημένο τύλιγμα ο συμπαγής δρομέας του πρώτου τύπου φέρει αυλακώσεις, μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα διέγερσης και προστατεύεται με σφήνες έναντι των φυγοκεντρικών δυνάμεων.

Είδη σύγχρονων μηχανών με βάση τον τύπο του δρομέα 3

- Ο πυρήνας του δρομέα κάθε σύγχρονης μηχανής είναι συμπαγής, επειδή ο δρομέας στη μόνιμη κατάσταση περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δεν δημιουργούνται απώλειες δινορρευμάτων.
- Μόνο τα πέλματα των πόλων στη μηχανή με έκτυπους πόλους κατασκευάζονται από ελάσματα για την αποφυγή των δινορρευμάτων, διότι εκεί το μαγνητικό πεδίο παρουσιάζει κάποια μεταβολή.

Είδη σύγχρονων μηχανών με βάση τον τύπο του δρομέα 4

- Ο αριθμός των πόλων μιας μηχανής με κατανεμημένο τύλιγμα διέγερσης είναι συνήθως 2 ($p=1$). Για σύγχρονες μηχανές μεγάλης ισχύος ο αριθμός των πόλων συνήθως είναι 4 ($p=2$).
- Οι μηχανές με έκτυπους πόλους έχουν αριθμό ζευγών πόλων που κυμαίνεται μεταξύ $p=1$ και $p=40$, που σημαίνει ότι η ταχύτητα n_s μπορεί να είναι μικρή.

Γενικός τύπος ισχύος μιας σύγχρονης μηχανής

- Η φαινόμενη ισχύς μιας σύγχρονης μηχανής μπορεί να εκφρασθεί με τον απλό τύπο:

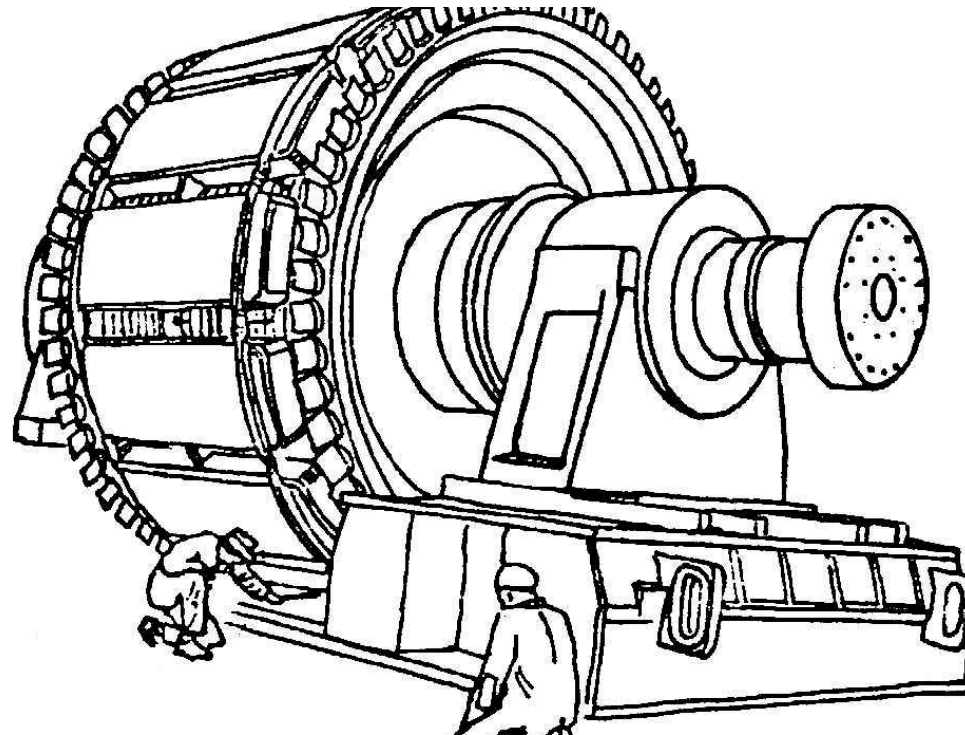
$$P_{\varphi} = c D^2 l n$$

- όπου c = σταθερά, D = διάμετρος, l = μήκος, n = αριθμός στροφών

Σύγχρονη μηχανή έκτυπων πόλων 1

- Για δεδομένη ισχύ και βραδέως στρεφόμενους δρομείς:
- η διάμετρος είναι μεγάλη (της τάξεως $D=14\text{m}$) και το μήκος σχετικά μικρό, διότι ο αριθμός στροφών δεν δημιουργεί κινδύνους (φυγόκεντρος δύναμη).
- Συναντάται επί των πλείστον στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια

Σύγχρονη μηχανή έκτυπων πόλων 2



Σκίτσο σύγχρονης μηχανής έκτυπων πόλων [4]

Σύγχρονη μηχανή έκτυπων πόλων 3



Δρομέας σύγχρονης μηχανή έκτυπων πόλων [3]

Σύγχρονη μηχανή έκτυπων πόλων 4



Εγκατάσταση δρομέα σύγχρονης μηχανής σε υδροηλεκτρικό εργοστάσιο [1]

Σύγχρονη μηχανή έκτυπων πόλων 5



Επισκευή σύγχρονης μηχανής σε υδροηλεκτρικό εργοστάσιο της Ελβετίας [4]

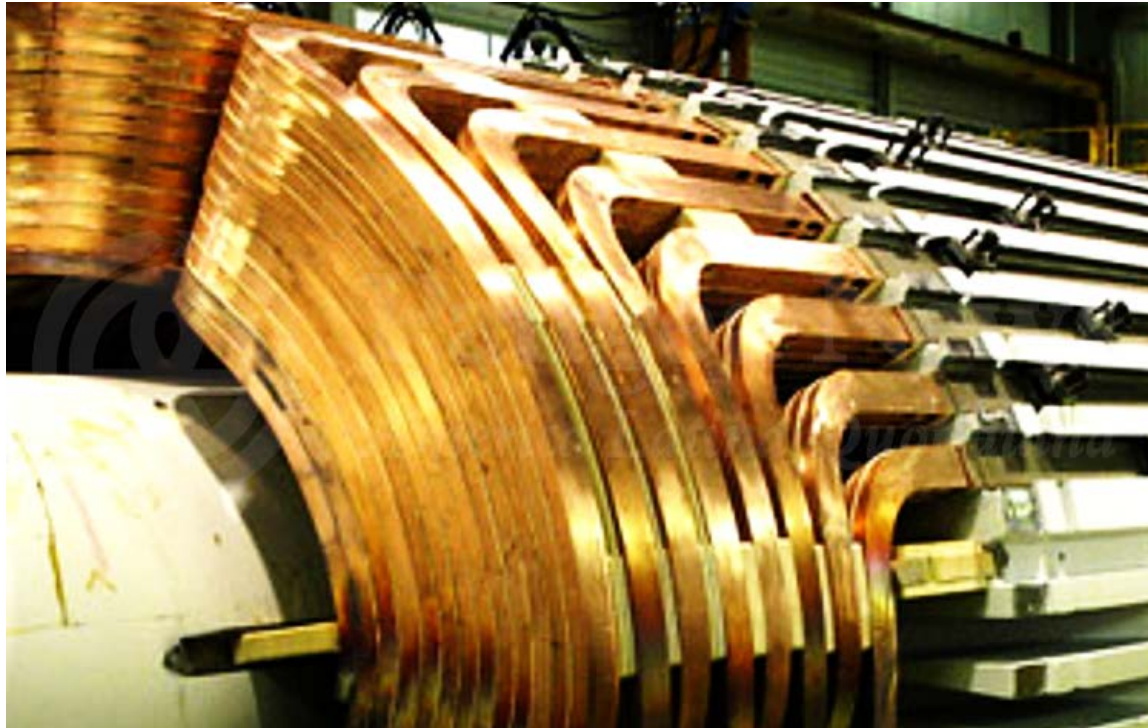
Σύγχρονη μηχανή με κατανεμημένο τύλιγμα 1

- Έχουν μικρό αριθμό πόλων και δουλεύουν με μεγάλο αριθμό στροφών
- Κατασκευάζονται με μεγάλο μήκος l και με μικρή διάμετρο (έως $D = 1,5 \text{ m}$)
- Συναντώνται στα θερμικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος

Σύγχρονη μηχανή με κατανεμημένο τύλιγμα 2

- Οι αυλακώσεις, που είναι γεμάτες με ηλεκτρικούς αγωγούς, καλύπτουν περίπου τα $2/3$ της περιφέρειας, για να παίρνουμε στο διάκενο όσο είναι δυνατό ημιτονοειδή κατανομή του μαγνητικού πεδίου.

Σύγχρονη μηχανή με κατανεμημένο τύλιγμα 3



Τμήμα δρομέα σύγχρονης μηχανής με
κατανεμημένο τύλιγμα [3]

Σύγχρονη μηχανή με κατανεμημένο τύλιγμα 4



Δρομέας σύγχρονης μηχανής με κατανεμημένο
τύλιγμα [3]

Σύγχρονη μηχανή με κατανεμημένο τύλιγμα 5

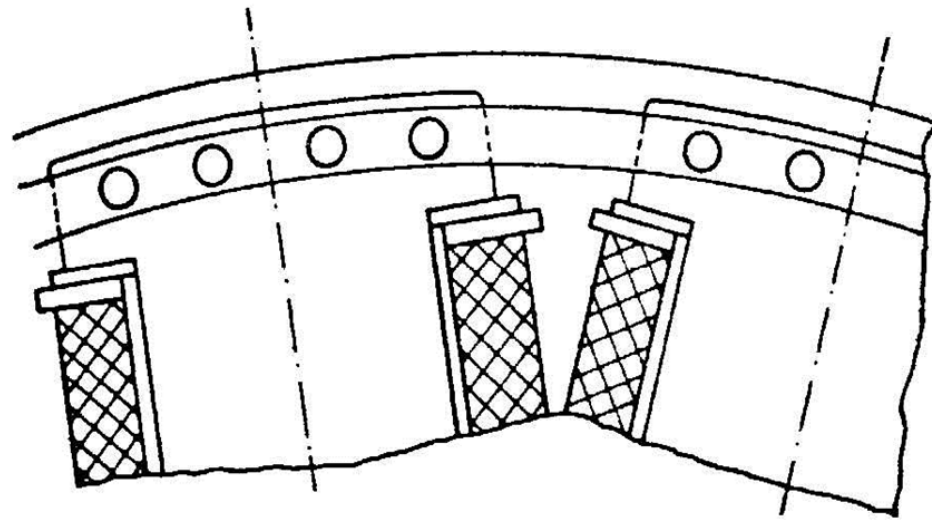


Δρομέας σύγχρονης μηχανής Σύγχρονη μηχανή με
κατανεμημένο τύλιγμα [3]

Τύλιγμα απόσβεσης 1

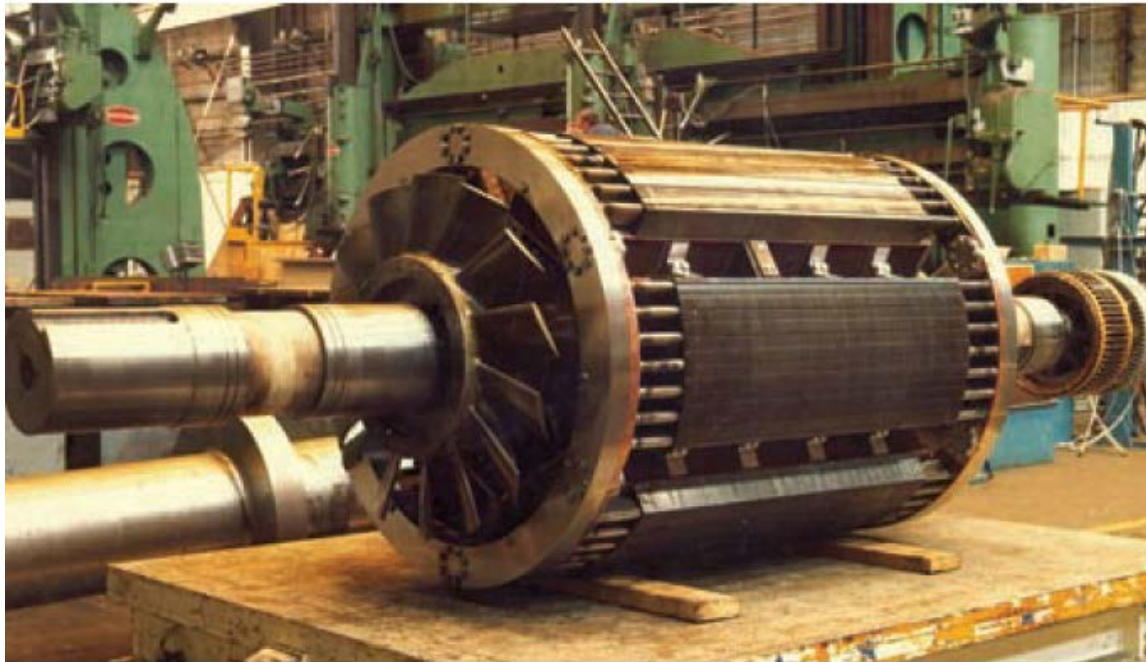
- Ο δρομέας των σύγχρονων μηχανών και των δύο τύπων φέρει ως επί τω πλείστον ένα ακόμη τύλιγμα, που ονομάζεται τύλιγμα απόσβεσης.
- Αυτό αποτελείται από χάλκινες ράβδους (μπάρες), οι οποίες σε μηχανές με εκτύπους πόλους τοποθετούνται επάνω στα πέλματα των πόνων και συνδέονται με δακτυλίους βραχυκύκλωσης όπως στην Α.Μ. με κλωβό.

Τύλιγμα απόσβεσης 2



Τομή του δρομέα μίας Σ.Μ. με 20 πόλους και κλωβό απόσβεσης [4]

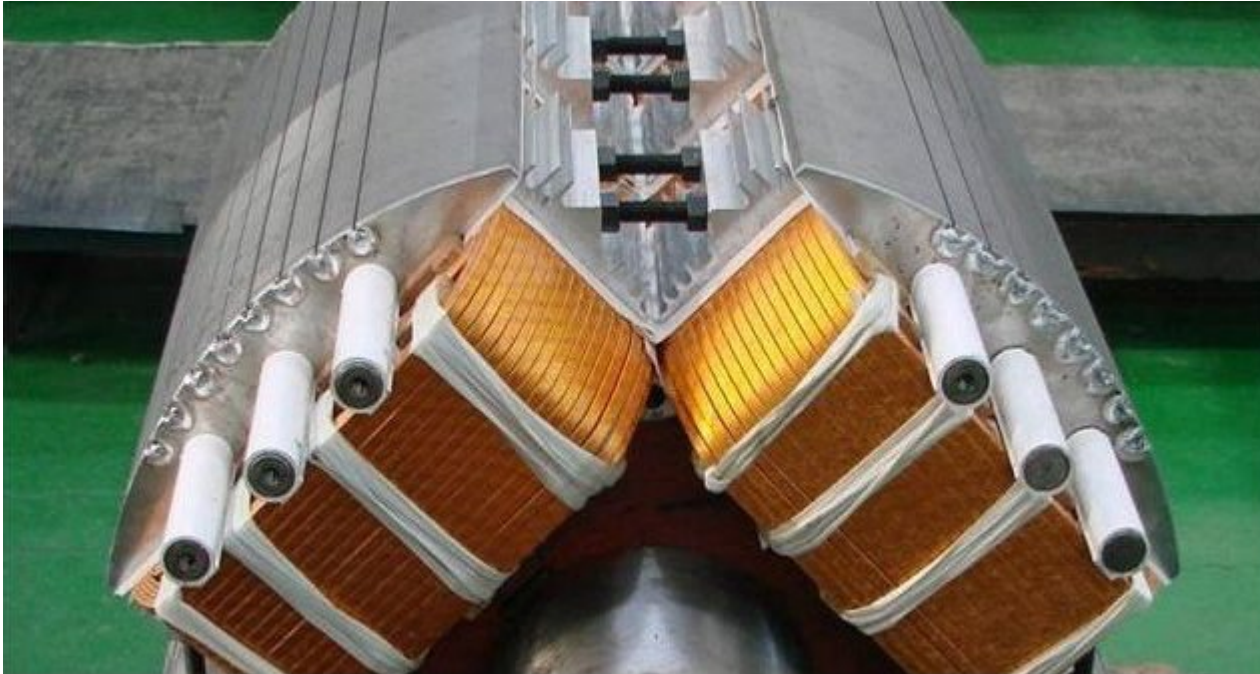
Τύλιγμα απόσβεσης 3



Synchronous motor rotor with amortisseur winding.

Δρομέας σύγχρονης μηχανής με καταναμημένο
τύλιγμα και τύλιγμα απόσβεσης [5]

Τύλιγμα απόσβεσης 4



Δρομέας σύγχρονης μηχανής έκτυπων πόλων με
τύλιγμα απόσβεσης [5]

Ψύξη 1

- Η εξέλιξη στην κατασκευή των μεγάλων Σ.Μ. στηρίζεται μεταξύ άλλων στη βελτίωση του συστήματος ψύξης.
- Οι δυνατότητες ψύξης καθορίζουν τη μέγιστη ισχύ, την οποία μπορεί να αποδώσει μια σύγχρονη γεννήτρια.
- Για τον σκοπό αυτό αναπτύσσονται συστήματα ψύξεως, τα οποία διαρκώς βελτιώνονται και αποτελούν ένα μεγάλο μέρος από την έρευνα, η οποία διεξάγεται για την εξέλιξη των Σ.Μ.

Ψύξη 2

- Μια Σ.Μ. ισχύος $P_{\Phi}=400\text{MVA}$ και $\cos\phi = 0,85$ με συντελεστή απόδοσης $\eta=98,5\%$ έχει απώλειες $P_v=5100\text{ kW}$.
- Το ποσό αυτό της ισχύος μετατρέπεται σε θερμότητα, είναι μεγάλο και για να μην έχουμε βλάβες πρέπει να απομακρυνθεί από το μέρος που δημιουργείται.

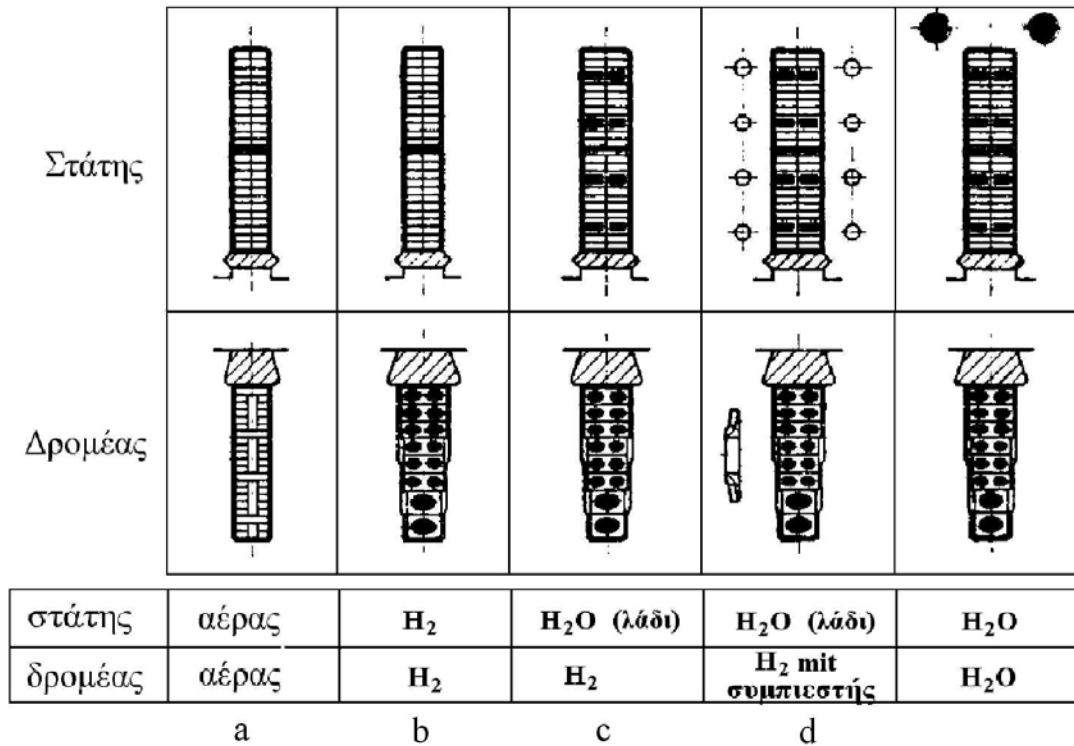
Ψύξη 3

- Εγκαταλείποντας τον αέρα ως ψυκτικό και περνώντας στο υδρογόνο, κατόπιν δε στο απεσταγμένο νερό, κατέστη δυνατό να φθάσει η οριακή ισχύς την τιμή της τάξεως των 2000 MVA
- Παράλληλα γίνονται προσπάθειες να χρησιμοποιηθούν οι υπεραγωγοί στην κατασκευή ηλεκτρικών μηχανών. Κυρίως ως σύγχρονων κινητήρων
- Στην περίπτωση αυτή τα τυλίγματα βρίσκονται σε θερμοκρασία πλησίον του απολύτου μηδενός, με αποτέλεσμα να μηδενίζεται η ωμική αντίστασή τους.

Συστήματα ψύξης δρομέα και στάτη 1

- Η ψύξη με αέρα στο στάτη και στον δρομέα χρησιμοποιείται για μηχανές μέχρι περίπου 90 MVA
- Η ψύξη με υδρογόνο χρησιμοποιείται για ψύξη μηχανών ισχύος από 40 έως 235 MVA
- Η ψύξη με λάδι ή νερό στο στάτη και υδρογόνο στο δρομέα και χρησιμοποιείται για μηχανές ισχύος 150 έως 250 MVA
- Η ψύξη που χρησιμοποιεί συμπίεση για το υδρογόνο στον δρομέα χρησιμοποιείται σε μηχανές ισχύος από 200 έως 1400 MVA.
- Η ψύξη που χρησιμοποιεί νερό στο στάτη και στο δρομέα είναι η πλέον σύγχρονη και χρησιμοποιείται για μηχανές μέγιστης ισχύος, π.χ. της τάξης των 500 MVA και πάνω.

Συστήματα ψύξης δρομέα και στάτη 2



Συστήματα ψύξης δρομέα και στάτη [4]

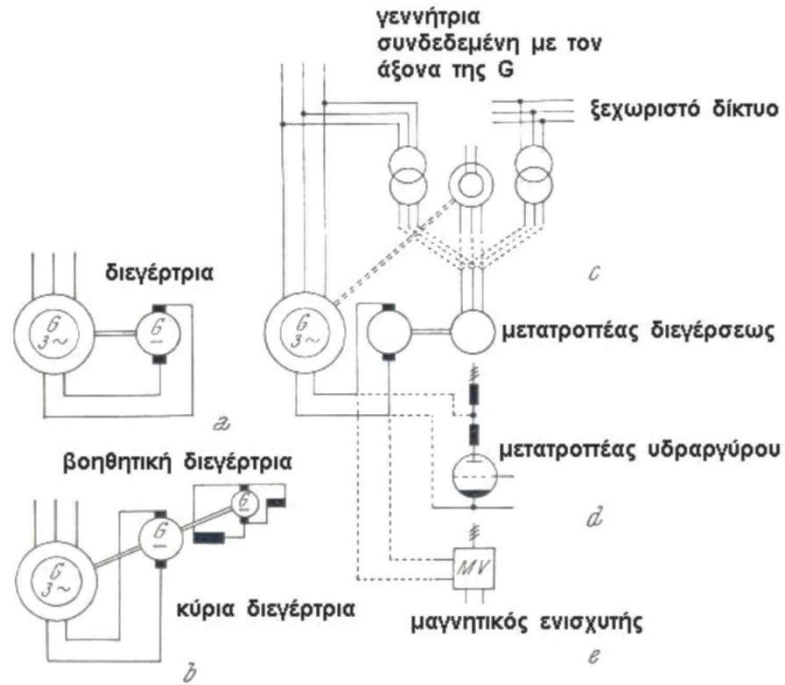
Τυποποιημένες τάσεις

- Οι τυποποιημένες τάσεις που παίρνουμε στους ακροδέκτες μίας γεννήτριας σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς κατανέμονται ως εξής:
400, 525, 3150, 5250, 6300, 15000, 15750,
16500, 21000, 24000, 25000, 27500 και 30000 V.
- Το μέγεθος της τάσης στους ακροδέκτες προσδιορίζεται από την αντοχή των μονωτικών υλικών με μέγιστη επιτρεπτέα τιμή περίπου 30 kV

Διέγερση 1

- Το τύλιγμα του δρομέα τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα κατά διάφορους τρόπους για να δημιουργηθεί η διέγερση του μαγνητικού πεδίου της μηχανής
- Είναι όμως δυνατόν (και αναγκαίο σε μεγάλες μηχανές) το ρεύμα διέγερσης να προέλθει από ανόρθωση εναλλασσόμενης τάσης

Διέγερση 2

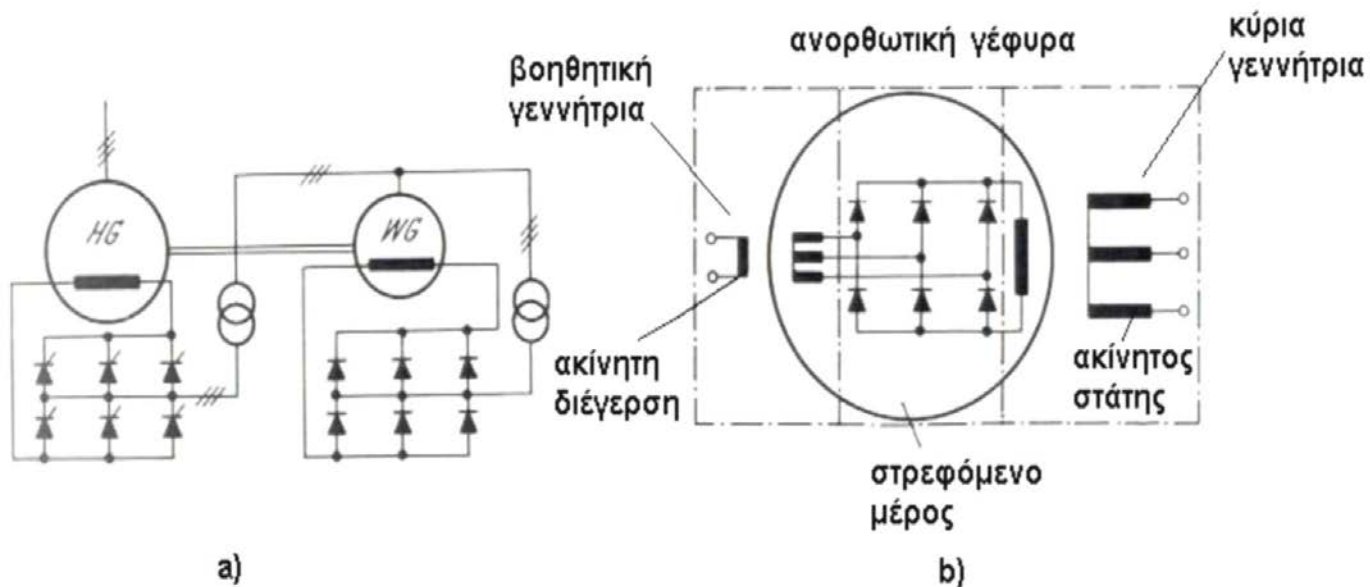


Τρόποι διέγερσης [4]

Διέγερση 3

- Για μικρές μηχανές χρησιμοποιείται η διάταξη (a). Για Σ.Μ. μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται οι άλλες διατάξεις (b, c, d, e)
- Η βοηθητική διεγέρτρια (b) είναι μια αυτοδιεγειρόμενη μηχανή συνεχούς ρεύματος με μόνιμο μαγνήτη
- Το σύστημα (c) περιλαμβάνει ένα στρεφόμενο μετατροπέα (τριφασικό κινητήρα και γεννήτρια συνεχούς ρεύματος)
- Το σύστημα (d) περιλαμβάνει ρυθμιζόμενο ηλεκτρονικό μετατροπέα αποτελούμενο από λυχνίες υδραργύρου (παλαιότερη τεχνολογία).

Διέγερση 4



Διέγερση με τη βοήθεια ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος

Διέγερση 5

- Στο σχήμα (a) οι ανορθωτικές γέφυρες βρίσκονται έξω από τη μηχανή
- Στο (b) το ανορθωτικό σύστημα είναι τοποθετημένο πάνω στον άξονα και στρέφεται μαζί με αυτόν.

Δυνατότητες συστήματος διέγερσης

- Το σύστημα διέγερσης απαιτούμε να έχει τη δυνατότητα αλλαγής του ρεύματος διέγερσης ώστε:
 1. να ασκείται έλεγχος της εσωτερικής τάσης της σύγχρονης μηχανής
 2. σε κρίσιμες καταστάσεις, όπως είναι τα βραχυκυκλώματα του στάτη, να είναι σε θέση να ελαττώσει το μαγνητικό πεδίο γρήγορα και κατά συνέπεια και την τάση εξ επαγωγής

Πηγές

Οι πηγές των **Εικόνων**, των **Σχημάτων** και των **Διαγραμμάτων** είναι:

[1] <http://www.rediff.com/business/slide-show/slide-show-1-the-worlds-25-biggest-power-plants/20110511.htm>

[2] <http://www.electrical4u.com/synchronous-motor-working-principle/>

[3] <http://www.linkiesta.it/ansaldo-cina>

[4] A.N. Σαφάκας, «Ηλεκτρικές Μηχανές Β», Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2009

[5] <http://goodnews11.hubpages.com/hub/Synchronous-machines-Construction-Principle-of-operation>

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Τζόγια Καππάτου. Τζόγια Καππάτου, «Ηλεκτρικές Μηχανές II». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE687/>.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Τέλος Ενότητας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης