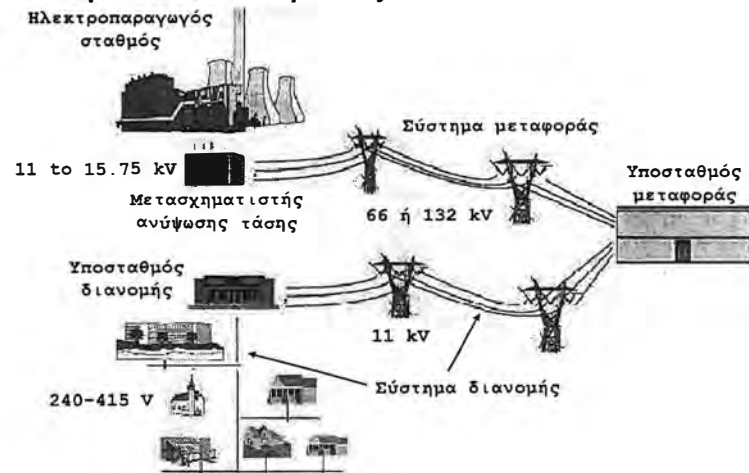


Τι είναι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας;

Είναι το μεγαλύτερο και πιο σύνθετο δυναμικό σύστημα που κτίστηκε ποτέ από ανθρώπους



ΠΡΟΫΠΗΡΕΣΙΑΚΗ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ – ΠΡΥ 020 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

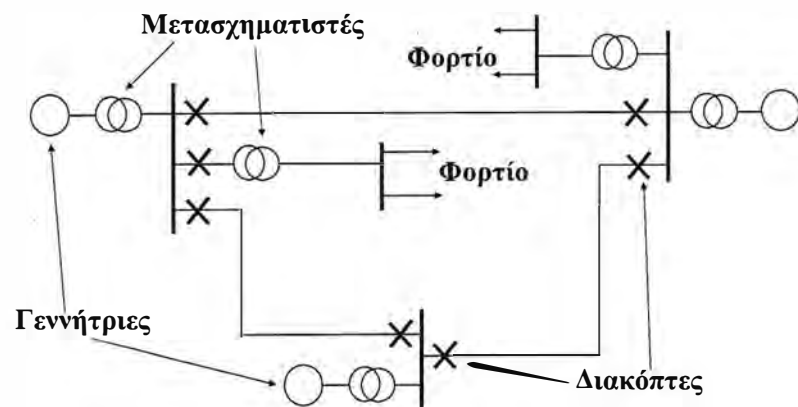
Διάλεξη 12 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Δρ. Ηλίας Κυριακίδης και Δρ. Κωνσταντίνος Πίτρης



ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

Απλό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας



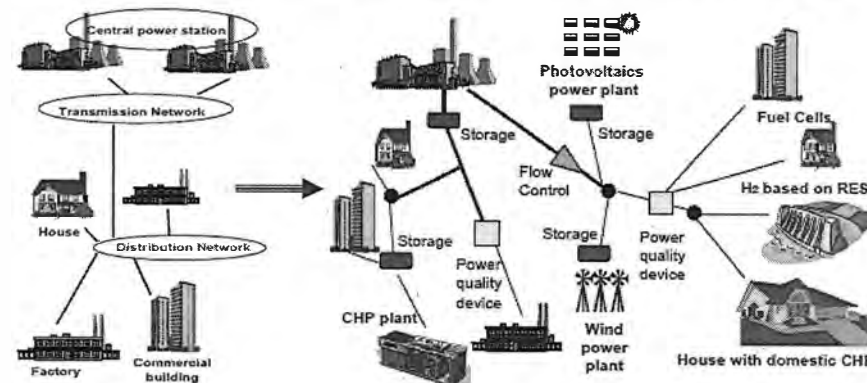
ΤΑ ΘΕΜΑΤΑ ΜΑΣ ΣΗΜΕΡΑ

- Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας
- Παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας
- Συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Αποθήκευση και μετατροπή ενέργειας
- Μονοφασικά και τριφασικά κυκλώματα
- Διόρθωση συντελεστή ισχύος
- Μονοφασικοί και τριφασικοί μετασχηματιστές
- Θεωρία σύγχρονων μηχανών (γεννήτριες και κινητήρες)
- Μηχανές συνεχούς έντασης (γεννήτριες και κινητήρες)

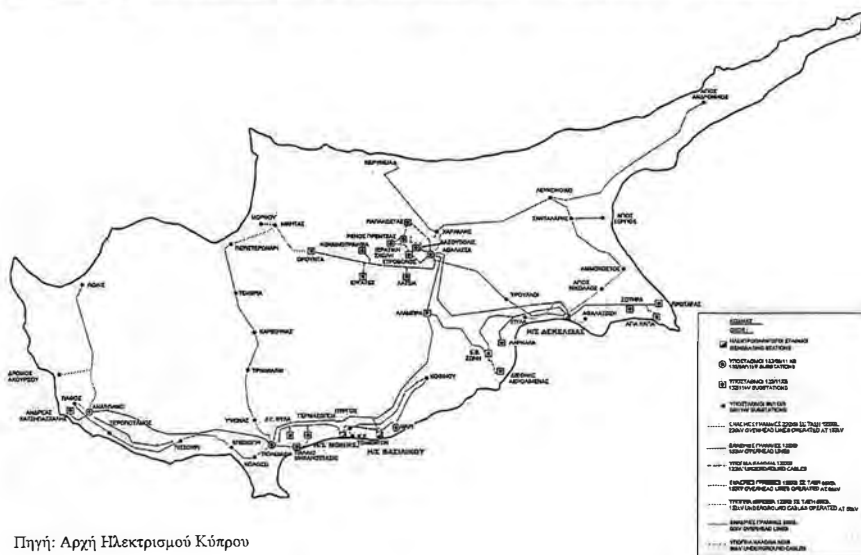
ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

- Δίκτυο ψηλής τάσης (66 ή 132 kV).
- Μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους σταθμούς παραγωγής στους υποσταθμούς μεταφοράς.
- Γίνεται σε ψηλή τάση για να μειωθούν οι απώλειες ισχύος I^2R , αφού η μεταφορά γίνεται σε μεγάλες αποστάσεις.

**Το δίκτυο στο εγγύς μέλλον
(Το όραμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης)**



ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ



Πηγή: Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου

ΣΤΑΔΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- ΠΑΡΑΓΩΓΗ
- ΜΕΤΑΦΟΡΑ
- ΔΙΑΝΟΜΗ

ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

- Συνεχές ισοζύγιο παραγωγής και ζήτησης ενεργού ισχύος
- Συνεχές ισοζύγιο παραγωγής και ζήτησης άεργου ισχύος για διατήρηση μέτρων τάσεως
- Παρακολούθηση ροών ισχύος μέσω γραμμών και μετασχηματιστών ούτως ώστε να μην υπερβούν τα θερμικά όρια κάθε στοιχείου
- Διατήρηση συστήματος σε σταθερή κατάσταση
- Διατήρηση ευστάθειας του συστήματος ακόμη και όταν αφαιρεθεί ένα οποιοδήποτε στοιχείο του (κριτήριο N-1)
- Σχεδιασμός και μελέτες για τη λειτουργία και ανάπτυξη του συστήματος
- Ετοιμότητα για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Χώρα	Μέθοδος παραγωγής (%)					
	Κάρβουνο	Πετρέλαιο	Πυρηνική	Φυσικό Αέριο	Υδροηλεκτρική	Άλλες
Κύπρος (σήμερα)	0	100	0	0	0	0
Κύπρος (2010)	0	26	0	68	0	6
Ελλάδα (2001)	65	16	0	8.2	10.7	0.1
ΕΕ-25 (2002)	30	6	32	17	17	
ΗΠΑ (1979)	48.2	13.6	11.6	14.1	12.7	0
ΗΠΑ (1990)	55.5	4.2	20.6	9.4	10	0.4
ΗΠΑ (2000)	53.6	1.3	20	9.4	7.1	8 (includes IPPs)
Κόσμος (1971)	40	20.9	2.1	13.3	23	0.7
Κόσμος (2003)	40.1	6.9	15.8	19.4	15.9	1.9

ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

- Περιλαμβάνει
 - (α) το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (11 kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής
 - (β) το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (240/415 V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.
- Είναι το μεγαλύτερο σύστημα σε συνολικό μήκος αγωγών.

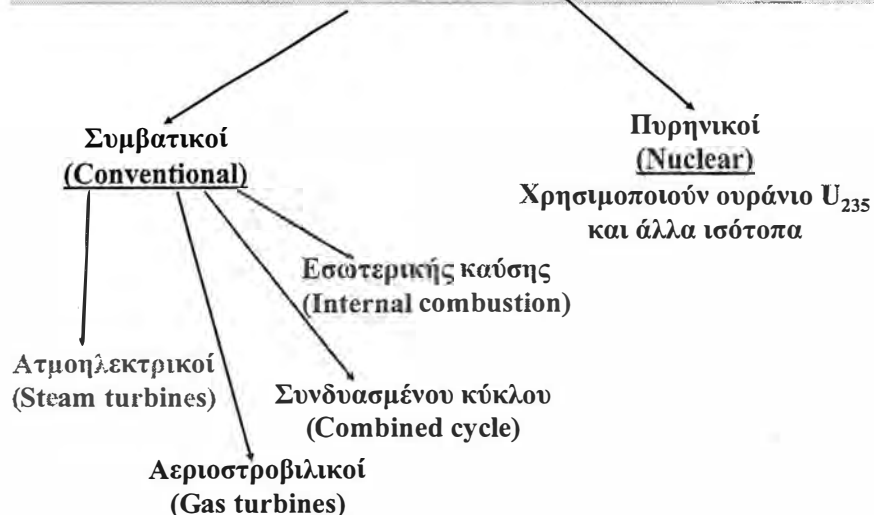
ΑΞΙΟΠΙΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η επίτευξη αξιόπιστης λειτουργίας σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι εύκολη:

- Η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευθεί σε μεγάλες ποσότητες (λόγω υψηλού κόστους) => Ο ηλεκτρισμός πρέπει να παραχθεί τη στιγμή που θα ζητηθεί.
- Η ροή ισχύος δεν μπορεί να ελεγχθεί ανοίγοντας ή κλείνοντας μια βαλβίδα ούτε με το ανοιγοκλείσιμο διακοπών ή τη χρήση δρομολογητών όπως στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

Για την αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου χρειάζονται εκπαιδευμένοι και ικανοί χειριστές, ηλεκτρονικοί υπολογιστές και λογισμικά, καλές τηλεπικοινωνίες και καλός σχεδιασμός και μελέτη του δικτύου.

ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ



ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς: 1118 MW (2008)

Μέγιστη ζήτηση: 903.8 MW (Αυγ. 2006), 1042 MW (Ιούλιος 2007)

Χρονιαία κατανάλωση: 4423 GWh (2005)

Κόστος ενέργειας: περίπου 7 σεντ/kWh κατά μέσο όρο

Εξαρτάται από την τιμή του καυσίμου και την
κατανάλωση του πελάτη

ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

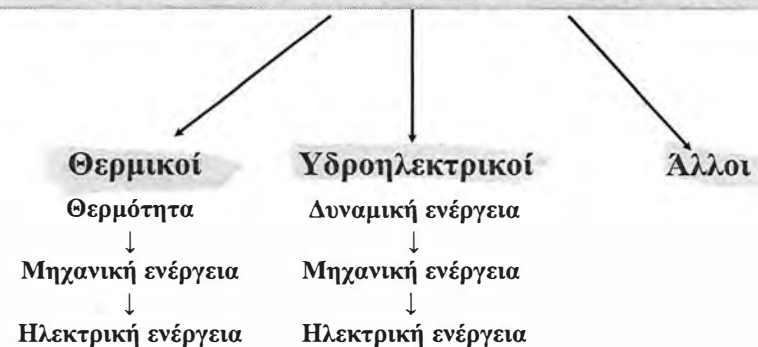
Ατμοηλεκτρικοί (Steam turbines):

Χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα (κάρβουνο, μαζούτ, φυσικό αέριο) που καίγονται στο λέβητα για να δημιουργήσουν υπέρθερμο ατμό, ο οποίος κινεί το στρόβιλο. (Απόδοση 30-45%, πολύ αργή εκκίνηση (πολλές ώρες), μικρό λειτουργικό κόστος).

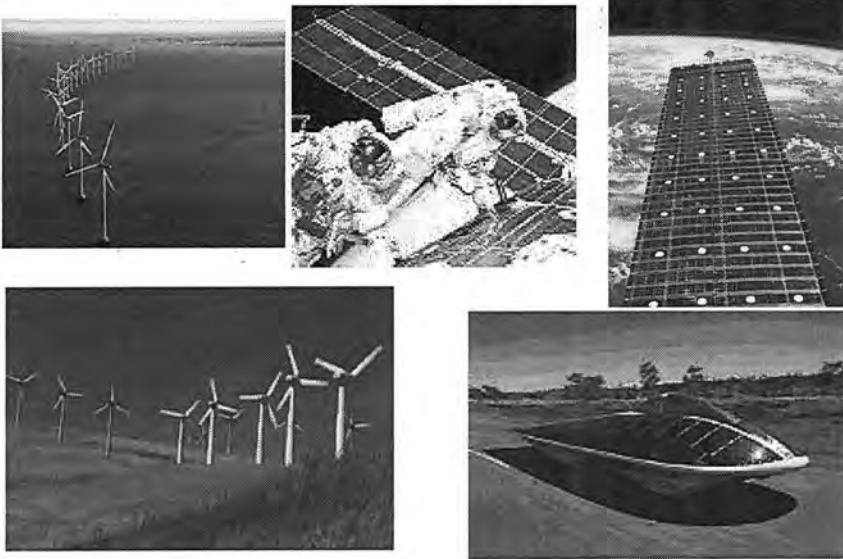
Αεριοστροβιλικούς (Gas turbines):

Ο ατμοσφαιρικός αέρας συμπιέζεται και οδηγείται στον θάλαμο καύσης όπου ψεκάζεται με πετρέλαιο diesel ή φυσικό αέριο. Τα αέρια οδηγούνται στον αεριοστρόβιλο που τον αναγκάζουν να περιστραφεί. (Απόδοση 25-35%, γρήγορη εκκίνηση, χρήση ως μονάδες αιχμής, ψηλό κόστος λειτουργίας).

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ



Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας



Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) Renewable Energy Sources (RES)

- Αιολική ενέργεια (wind energy)
- Ηλιακή ενέργεια (solar energy)
- Γεωθερμική ενέργεια (geothermal energy)
- Υδροηλεκτρική ενέργεια (hydroelectric energy)
- Βιομάζα (biomass)
- Παλιρροιακή ενέργεια (tidal energy)



ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Συνδυασμένου κύκλου (Combined cycle):

Συνδυασμός αεριοστρόβιλου και ατμοηλεκτρικού σταθμού. Τα αέρια από την έξοδο του αεριοστρόβιλου διοχετεύονται σε ένα άλλο λέβητα όπου παράγεται ατμός που κινεί ατμοστρόβιλο. (Απόδοση 50%).

Εσωτερικής καύσης (Internal combustion):

Χρησιμοποιούν έμβολα (πιστόνια) για να μετατρέπουν πίεση σε μηχανική ενέργεια. Χρησιμοποιείται diesel ή φυσικό αέριο ως καύσιμο το οποίο εκρήγνυται μέσα στο πιστόνι και καίγεται. Το πιστόνι δημιουργεί περιστρεφόμενη κίνηση μέσω ενός άξονα. (Απόδοση 50%). Χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρά συστήματα και σε μεγάλα κτίρια για να παρέχουν εφεδρική ισχύ.

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ



ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

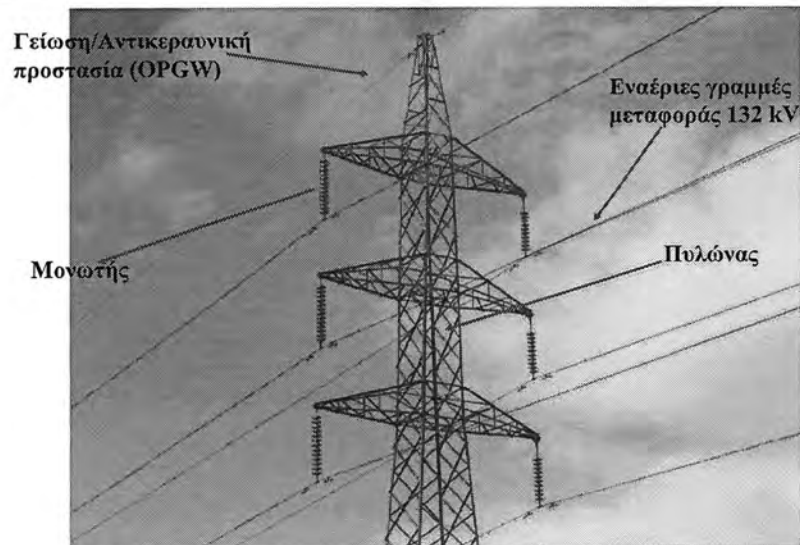
- Χώροι όπου γίνεται η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, είτε με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είτε με συμβατικές.
- Τάση παραγωγής: ~11-15.75 kV
- Ένας μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης αυξάνει την τάση σε 66 ή 132 kV για να γίνει η μεταφορά της μέσω του συστήματος μεταφοράς.

Συμβατικές Πηγές Ενέργειας Conventional Energy Sources

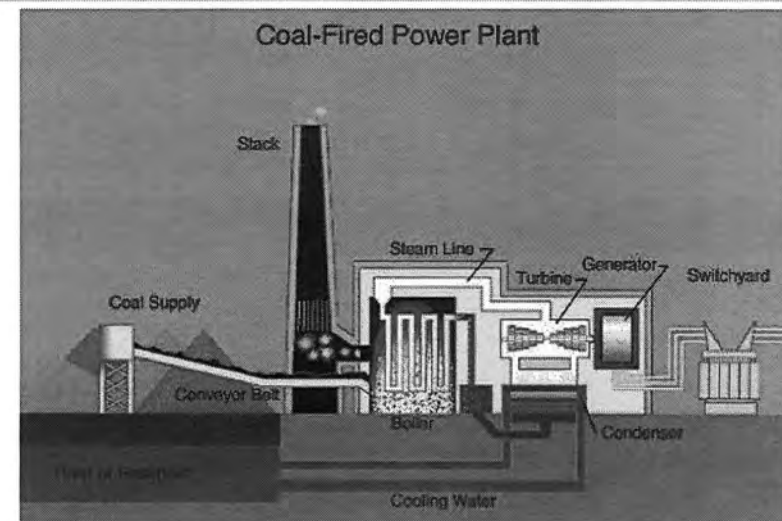
- Πετρέλαιο (μαζούτ) (oil)
- Κάρβουνο (coal)
- Φυσικό αέριο (natural gas)
- Πυρηνική ενέργεια (nuclear energy)



ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

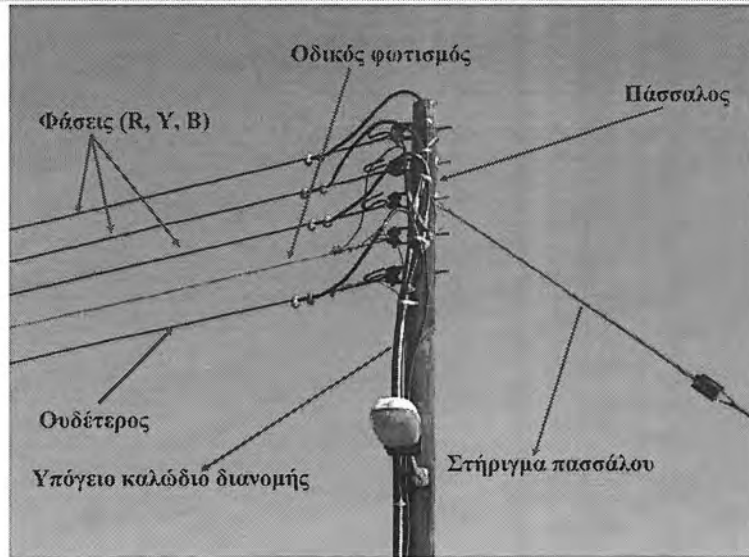


Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος



Πηγή: <http://www.tva.gov/power/coalart.htm>

ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ



ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

- Περιλαμβάνει

(α) το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (11 kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής

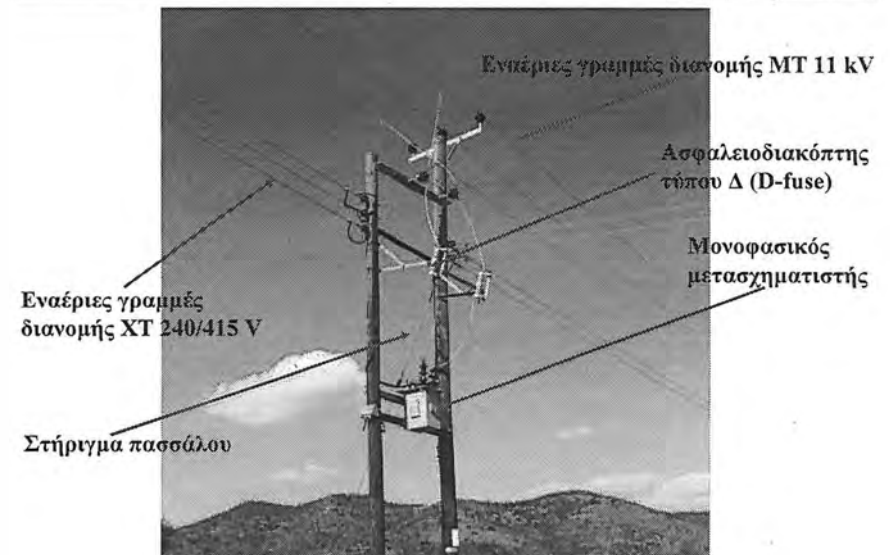
(β) το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (240/415 V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.

- Είναι το μεγαλύτερο σύστημα σε συνολικό μήκος αγωγών.

ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ

- Είναι κόμβοι στο δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού.
- Στοιχεία υποσταθμών:
 - Μετασχηματιστές (μεταβάλλουν την τάση και την ένταση)
 - Ασφαλειοδιακόπτες (circuit breakers) (ανοίγουν το κύκλωμα σε περίπτωση σφάλματος)
 - Διακόπτες αποσύνδεσης (disconnect switches)
 - Μετασχηματιστές τάσης και έντασης (voltage and current transformers) (για σκοπούς μετρήσεων)
 - Προστατευτικές συσκευές υπέρτασης (surge arresters) (για προστασία από κεραυνούς και από υπέρταση στο κύκλωμα)

ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ



ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Στην πλήρως αναπτυγμένη μορφή του, ένα ενεργειακό σύστημα υδρογόνου έχει 4 κύρια στάδια. Για το κάθε στάδιο απαιτούνται μεγάλες επενδύσεις και μεγάλες αλλαγές στην υποδομή.

- Πηγή υδρογόνου και παραγωγή υδρογόνου
- Αποθήκευση υδρογόνου
- Διανομή υδρογόνου
- Μετατροπή σε άλλες μορφές ενέργειας

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

Μπαταρίες

Πολύ ακριβή μέθοδος, πρακτικά αδύνατη για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας

Υδρογόνο

Μετατροπή ενέργειας σε υδρογόνο, αποθήκευση, και μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια

Μετατροπή ενέργειας: Κυψέλες καυσίμου

ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FUEL CELLS)

- Επιτρέπουν την μετατροπή υδρογόνου σε ηλεκτρισμό (αποδοτικότητα συνήθως 40-60%).
- Δεν προκαλούν μόλυνση στο περιβάλλον αφού τα υποπροϊόντα είναι νερό και θερμότητα.

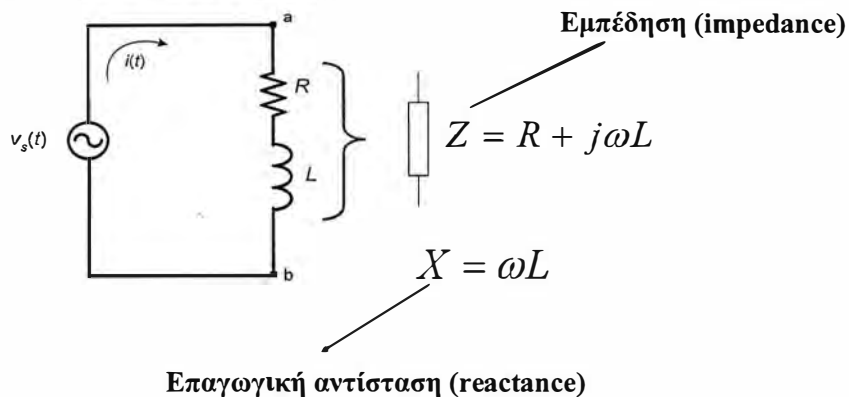
Κύρια είδη κυψελών καυσίμου

Alcaline Fuel Cells (AFC)
Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC)
Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC)
Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)
Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)

ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

- Το υδρογόνο δεν είναι πηγή ενέργειας.
- Βρίσκεται σε χημικές ενώσεις στο νερό, τη βιομάζα, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο.
- Για να το πάρουμε από αυτές τις χημικές ενώσεις πρέπει να σπαταλήσουμε ενέργεια (περισσότερη από όση θα πάρουμε πίσω).
- Η οικονομία υδρογόνου είναι μια κοινωνία στην οποία το υδρογόνο χρησιμοποιείται εκτενώς (παραγωγή από πηγές ενέργειας, αποθήκευση, διανομή και μετατροπή σε άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. ηλεκτρική και θερμική ενέργεια).
- Το υδρογόνο είναι ενδιάμεση μορφή ενέργειας σε ένα σύστημα μετατροπής ενέργειας.

ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC CO ₃ ²⁻	SOFC
Τύπος ηλεκτρολύτη	Ιόντα H ⁺	Ιόντα OH ⁻	Ιόντα H ⁺	Ιόντα	Ιόντα O ²⁻
Συνήθης κατασκευή	Πλαστικό, μέταλλο ή άνθρακας	Πλαστικό ή μέταλλο	Άνθρακας ή πορώδεις κεραμικό	Μέταλλα υψηλής θερμοκρασίας ή πορώδεις κεραμικό	Μέταλλα υψηλής θερμοκρασίας ή πορώδεις κεραμικό
Εσωτερική αναμόρφωση (reforming)	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι
Λειτουργική θερμοκρασία	65-85 °C	90-260 °C	190-210 °C	650-700 °C	750-1000 °C
Αποδοτικότητα	40-50%	70%	40-80%	60-80%	45-65%

ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Έστω, $v(t) = V_p \cos(\omega t + \phi)$

$$\Rightarrow V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Έστω, $i(t) = I_p \cos(\omega t + \delta)$

$$\Rightarrow I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

$$p(t) = v(t)i(t)$$

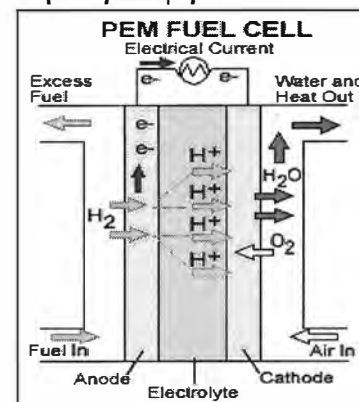
$$= V_p \cos(\omega t + \phi) I_p \cos(\omega t + \delta)$$

⋮

$$= V_{rms} I_{rms} \cos\theta [1 + \cos[2(\omega t + \phi)]] + V_{rms} I_{rms} \sin\theta \sin[2(\omega t + \phi)]$$

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

- Άτομα υδρογόνου εισρέουν στην κυψέλη καυσίμου μέσω της ανόδου, όπου μια χημική αντίδραση τους αφαιρεί τα ηλεκτρόνια.
- Τα άτομα υδρογόνου είναι τώρα «ιονισμένα» και μεταφέρουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο.



- Τα ηλεκτρόνια που απελευθερώθηκαν, παρέχουν ηλεκτρική ένταση μέσω των καλωδίων.
- Οξυγόνο εισρέει στην κυψέλη καυσίμου μέσω της καθόδου και ενώνεται με τα ηλεκτρόνια που επιστρέφουν μέσω του ηλεκτρικού κυκλώματος και με τα ιόντα υδρογόνου που ταξίδεψαν μέσω του ηλεκτρολύτη προς την κάθοδο.
- Το υδρογόνο και το οξυγόνο ενώνονται δημιουργώντας νερό και θερμότητα.

ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΜΙΓΑΔΙΚΟΥΣ ΑΡΙΘΜΟΥΣ

$$\vec{V} = |V|e^{j\phi} = |V|\angle\phi = |V|\cos\phi + j|V|\sin\phi$$

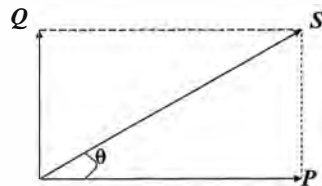
όπου $|V| = V_{rms}$, ϕ : φάση (phase angle)

$$\vec{I} = |I|\angle\delta$$

$$S = VI^* = |V|\angle\phi |I|\angle-\delta = |V||I|\angle(\phi-\delta) = |V||I|\angle\theta$$

$$= |V||I|\cos\theta + j|V||I|\sin\theta = P + jQ$$

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Συντελεστής ισχύος: power factor

$$\text{p.f.} = \frac{P}{V_{rms}I_{rms}} = \frac{P}{|S|} = \cos\theta$$

Ο συντελεστής ισχύος είναι πάντα θετικός. Γι' αυτό το συνοδεύουμε με τη λέξη προπορείας (leading) αν η ένταση προηγείται της τάσης και επιπορείας (lagging) αν η ένταση καθυστερεί σε σχέση με την τάση.

ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

$$p(t) = V_{rms}I_{rms} \cos\theta \{1 + \cos[2(\omega t + \phi)]\} + V_{rms}I_{rms} \sin\theta \sin[2(\omega t + \phi)]$$

Μέση τιμή: $P = V_{rms}I_{rms} \cos\theta$

Ενέργεια η οποία απορροφάται από το κύκλωμα

P : ενεργός ισχύς, real power, active power

Μονάδα μέτρησης: W (kW, MW)

θ : διαφορά φάσης μεταξύ V και I

Μέση τιμή: 0

Ενέργεια η οποία δανείζεται και αργότερα επιστρέφεται στο κύκλωμα

Τιμή κορυφής: $Q = V_{rms}I_{rms} \sin\theta$

Q : άεργος ισχύς, imaginary power, reactive power

Μονάδα μέτρησης: VAr (kVAr, MVar)

ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Για επαγωγικό φορτίο, $\theta > 0 \Rightarrow Q > 0$

Για χωρητικό φορτίο, $\theta < 0 \Rightarrow Q < 0$

Για καθαρή αντίσταση, $\theta = 0 \Rightarrow Q = 0$

$$S = P + jQ$$

S : φαινόμενη ισχύς (apparent power)

Μονάδα μέτρησης: VA (kVA, MVA)

Οι νόμοι του Kirchhoff, ο διαιρέτης τάσης και ο διαιρέτης έντασης καθώς και οι υπόλοιποι νόμοι για τα κυκλώματα ισχύουν.

ΤΡΙΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Γιατί τριφασική τάση;

- Υπάρχουν μεγάλα φορτία που χρειάζονται τριφασική τάση (π.χ. κινητήρες που χρειάζονται σταθερή ροπή).
- Μπορούμε να πάρουμε περισσότερη ισχύ ανά μονάδα βάρους από μια τριφασική μηχανή παρά από μια μονοφασική.
- Η ισχύς που μεταφέρεται σε ένα τριφασικό σύστημα είναι πάντοτε σταθερή και όχι εναλλασσόμενη όπως σε ένα μονοφασικό σύστημα.
- Χρειαζόμαστε λιγότερη μάζα καλωδίου για τη μεταφορά τριφασικής ισχύος.

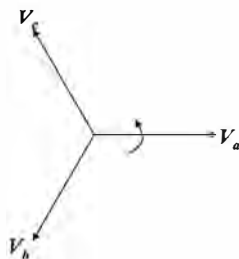


ΤΡΙΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Έστω ότι έχουμε ένα τριφασικό σύστημα που τροφοδοτεί ένα τριφασικό φορτίο (κάθε φάση έχει το ίδιο φορτίο).

$$\begin{aligned} v_a(t) &= \sqrt{2}V \sin(\omega t) & V_a &= V \angle 0 \\ v_b(t) &= \sqrt{2}V \sin(\omega t - 120) & V_b &= V \angle -120 \\ v_c(t) &= \sqrt{2}V \sin(\omega t - 240) & V_c &= V \angle -240 \end{aligned}$$

- Διαφορά φάσης 120° μεταξύ των τάσεων
- Ακολουθία τάσεων: a-b-c (ορθή ακολουθία, positive sequence)



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

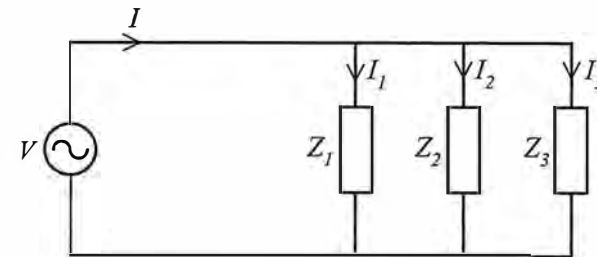
Στο πιο κάτω κύκλωμα: $V = 1200 \angle 0^\circ \text{ V}$

$$Z_1 = 60 + j0 \Omega$$

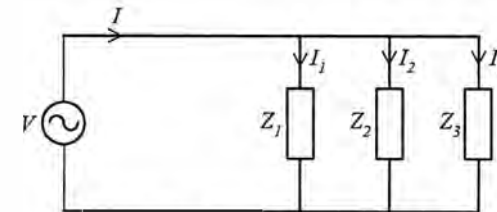
$$Z_2 = 6 + j12 \Omega$$

$$Z_3 = 30 - j30 \Omega$$

Υπολογίστε την ισχύ που καταναλώνεται από κάθε φορτίο και την συνολική ισχύ που καταναλώνουν τα τρία φορτία.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ (συνέχεια)



$$S_1 = VI_1^* = V \left(\frac{V}{Z_1} \right)^* = \frac{VV^*}{Z_1^*} = \frac{|V|^2}{Z_1^*} = \frac{1200^2}{60} = 24 \text{ kW}$$

$$S_2 = VI_2^* = \frac{|V|^2}{Z_2^*} = \frac{1200^2}{6 - j12} = 48 + j96 \text{ kVA} \Rightarrow |S_2| = 107.331 \text{ kVA}$$

$$S_3 = VI_3^* = \frac{|V|^2}{Z_3^*} = \frac{1200^2}{30 + j30} = 24 - j24 \text{ kVA} \Rightarrow |S_3| = 33.941 \text{ kVA}$$

$$S_{\text{TOTAL}} = S_1 + S_2 + S_3 = 96 \text{ kW} + j72 \text{ kVA} = 120 \angle 36.87^\circ \text{ kVA}$$

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΣΤΕΡΑ

Σχέσεις μεταξύ ποσοτήτων γραμμής και φάσης

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{an}$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{bn}$$

$$\bar{I}_c = \bar{I}_{cn}$$

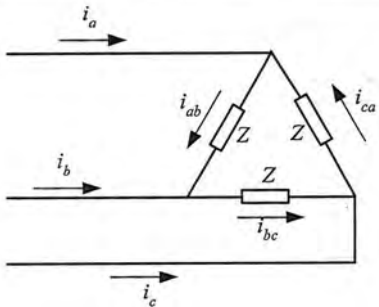
$$\text{ή} \quad \bar{I}_{line} = \bar{I}_{phase}$$

Οι εντάσεις γραμμής ισούνται με τις εντάσεις φάσης

$$\bar{V}_{LL} = \sqrt{3}\bar{V}_p \angle 30^\circ$$

Η τάση από γραμμή σε γραμμή προηγείται της αντίστοιχης φασικής τάσης κατά 30° .

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΔΕΛΤΑ



$$\bar{V}_{LL} = \bar{V}_p$$

$$\bar{I}_L = \sqrt{3}\bar{I}_p \angle -30^\circ$$

ΤΡΙΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Έστω ότι το φορτίο σε κάθε φάση είναι $\bar{Z} = Z \angle \theta$

$$\text{Αφού } \bar{I} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}}$$

$$\Rightarrow \bar{I}_a = \frac{\bar{V}_a}{\bar{Z}} = \frac{V \angle 0}{Z \angle \theta} = I \angle -\theta$$

$$\bar{I}_b = I \angle (-120 - \theta)$$

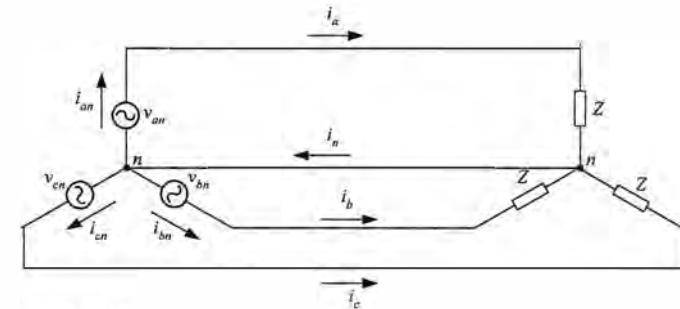
$$\bar{I}_c = I \angle (-240 - \theta)$$

Αρα, μπορούμε να ξεχωρίσουμε ένα τριφασικό κύκλωμα σε τρία ξεχωριστά μονοφασικά κυκλώματα. Στην πραγματικότητα, αυτά τα τρία κυκλώματα είναι ενωμένα μεταξύ τους.

Υπάρχουν δύο συνδεσμολογίες: η συνδεσμολογία αστέρα (Y) (star ή wye) και η συνδεσμολογία δέλτα (Δ) (delta).

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΣΤΕΡΑ

Ενώνουμε τα αρνητικά άκρα των γεννητριών και των φορτίων και έχουμε μόνο ένα ουδέτερο αγωγό (neutral).



$$I_n = I_a + I_b + I_c$$

Αν τα φορτία είναι ακριβώς ίσα, η ένταση μέσω του ουδέτερου αγωγού είναι μηδέν.

ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

Έστω ότι ένας κινητήρας είναι ενωμένος με μια πηγή 120 V rms και του παρέχεται ένταση 10 A rms με 60° επιπορείας (lagging). Επομένως,

$$P_{avg} = V_{rms} I_{rms} \cos \theta = 120 \times 10 \times 0.5 = 600 \text{ W}$$

Όμως,

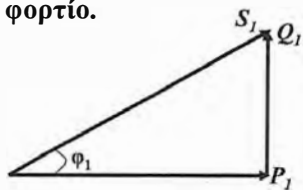
$$S = V_{rms} I_{rms} = 120 \times 10 = 1200 \text{ VA}$$

Επομένως, η ηλεκτρική εταιρεία παρέχει τη διπλάσια ένταση από όση θα χρειαζόταν να παρέχει αν η γωνία φάσης ήταν 0° (αφού οι πραγματικές ανάγκες του κινητήρα είναι 600 W).

Για να μειωθεί η ζήτηση άεργου ισχύος χρησιμοποιείται η μέθοδος της διόρθωσης συντελεστή ισχύος.

ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

Έστω ότι έχουμε το πιο κάτω τρίγωνο ισχύος για ένα επαγωγικό φορτίο.



Για να αυξήσουμε το συντελεστή ισχύος πρέπει να μειώσουμε τη γωνία ϕ_1 . Άρα πρέπει να μειώσουμε την άεργο ισχύ Q_I .

Αν προσθέσουμε πυκνωτές παράλληλα με το φορτίο, θα παρέχουν αρνητική άεργο ισχύ για να εξουδετερωθεί κάποια από τη θετική άεργο ισχύ του φορτίου.

ΙΣΧΥΣ ΣΤΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Ισχύς σε κάθε φάση:

$$p_a(t) = V_{rms} I_{rms} [\cos \theta - \cos(2\omega t + \theta)]$$

$$p_b(t) = V_{rms} I_{rms} [\cos \theta - \cos(2\omega t - 240 - \theta)]$$

$$p_c(t) = V_{rms} I_{rms} [\cos \theta - \cos(2\omega t - 480 - \theta)]$$

Συνολική ισχύς:

$$p_{total}(t) = p_a(t) + p_b(t) + p_c(t) = 3V_{rms} I_{rms} \cos \theta$$

Επομένως, η συνολική ισχύς που παρέχεται σε ένα τριφασικό συμμετρικό φορτίο είναι σταθερή και ανεξάρτητη του χρόνου.

$$P_{3\phi} = 3|V_p||I_p|\cos \theta$$

ΙΣΧΥΣ ΣΤΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Η τριφασική άεργος ισχύς στο τριφασικό κύκλωμα ορίζεται ως:

$$Q_{3\phi} = 3|V_p||I_p|\sin \theta$$

Η φαινόμενη τριφασική ισχύς είναι:

$$S_{3\phi} = P_{3\phi} + jQ_{3\phi} = 3|V_p||I_p|\cos \theta + j3|V_p||I_p|\sin \theta = 3\bar{V}_p \bar{I}_p^*$$

Οι πιο πάνω σχέσεις είναι για φασικές τάσεις και εντάσεις. Για τάσεις και εντάσεις γραμμής:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3}|V_{LL}||I_L|\cos \theta$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}|V_{LL}||I_L|\sin \theta$$

Το θ είναι η διαφορά φάσης μεταξύ φασικής τάσης και φασικής έντασης σε όλες τις σχέσεις.

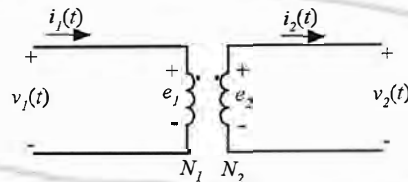
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

- Είναι στατικές μηχανές
- Έχουν δύο ή περισσότερα πηνία
- Μετατρέπουν την τάση στο πρωτεύον πηνίο σε ψηλότερη ή χαμηλότερη τάση στο δευτερεύον, ανάλογα με τον λόγο σπειρών των δυο πηνίων.
- Η ισχύς εισόδου είναι η ίδια με την ισχύ εξόδου (μείον τις απώλειες).
- Υπάρχουν μονοφασικοί και τριφασικοί μετασχηματιστές.

- Ο πυρήνας σε ένα μετασχηματιστή είναι φτιαγμένος από λεπτά, μονωμένα ελάσματα μετάλλου (συνήθως από ατσάλι με προσθήκη πυριτίου).
- Οι δύο περιελίξεις του μετασχηματιστή είναι μονωμένες η μια από την άλλη.

ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

Σε ένα ιδανικό μετασχηματιστή αγνοούνται όλες οι απώλειες (αντιστάσεις, διαρροές ροών, ένταση διέγερσης)



Λειτουργία μετασχηματιστή:

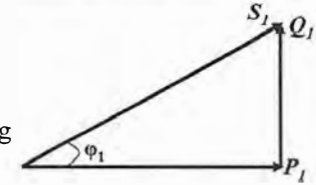
- Το πρωτεύον πηνίο τροφοδοτείται από εναλλασσόμενη τάση.
- Αυτή η τάση δημιουργεί μια μαγνητική ροή στον πυρήνα
- Επομένως δημιουργείται τάση εξ' επαγωγής στο δευτερεύον πηνίο.
- Αν υπάρχει φορτίο στο δευτερεύον πηνίο, τότε υπάρχει και ροή έντασης στα δυο πηνία.

ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

Έστω ότι $P_1 = 100 \text{ kW}$, $Q_1 = 75 \text{ kVAr}$

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} \Rightarrow S_1 = 125 \text{ kVA}$$

$$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{100}{125} \Rightarrow \text{p.f.} = \cos \phi_1 = 0.8 \text{ lagging}$$



Έστω ότι θέλουμε να αυξήσουμε το συντελεστή ισχύος σε 0.95 lagging. Τι πυκνωτή πρέπει να προσθέσουμε παράλληλα με το φορτίο;

ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

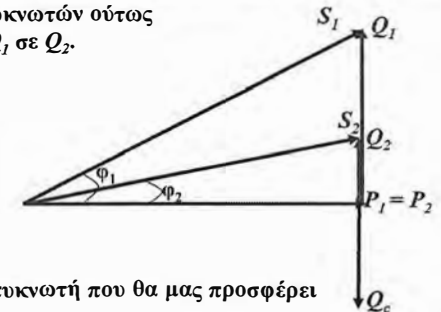
Πρέπει να προσθέσουμε μια συστοιχία πυκνωτών ούτως ώστε να μειώσουμε την άεργο ισχύ από Q_1 σε Q_2 .

$$\text{p.f.} = 0.95 = \cos \phi_2 \Rightarrow \phi_2 = 18.19^\circ$$

$$\tan \phi_2 = \frac{Q_2}{P_2}$$

$$\Rightarrow Q_2 = 32.87 \text{ kVAr}$$

Επομένως, πρέπει να προσθέσουμε ένα πυκνωτή που θα μας προσφέρει $Q_c = Q_1 - Q_2 \Rightarrow Q_c = 42.13 \text{ kVAr}$.

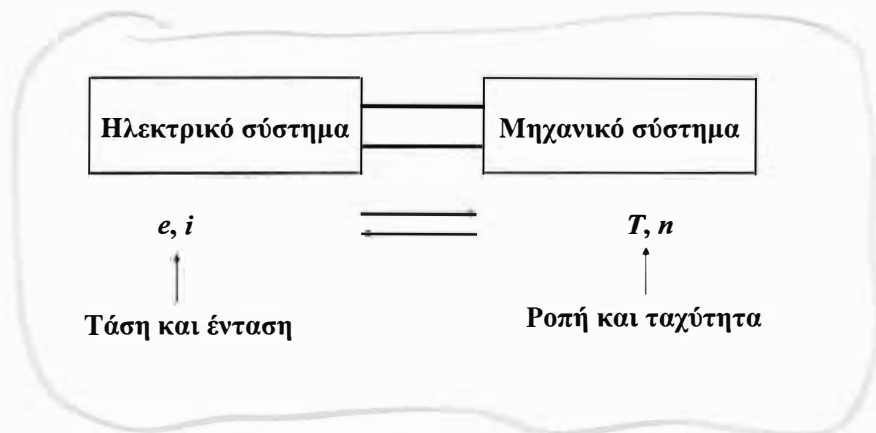


$$\text{Η νέα ζήτηση ισχύος είναι, } S_2 = \frac{P_2}{\cos \phi_2} = 105.26 \text{ kVA,}$$

ενώ προηγουμένως ήταν 125 kVA.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Χρησιμοποιούνται για να ενώνουν δυο διαφορετικά συστήματα: το ηλεκτρικό και το μηχανικό.



ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Μηχανές → Εναλλασσόμενης έντασης (alternating current) (ac)
 Μηχανές → Συνεχούς έντασης (direct current) (dc)

Μηχανές → Γεννήτριες (generators)
 Μηχανές → Κινητήρες (motors)

ΚΥΡΙΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΣΕ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

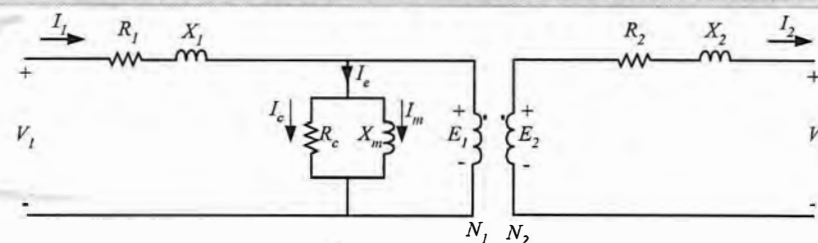
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \alpha$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{\alpha}$$

$$E_1 I_1 = E_2 I_2$$

Στην περίπτωση του ιδανικού μετασχηματιστή, $V = E$

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ



- R_1 και R_2 : Αντίσταση των περιελίξεων
- X_1 και X_2 : Μοντελοποιούν τη διαρρέουσα ροή μεταξύ των δυο περιελίξεων
- X_m : Αφού ο πυρήνας δεν έχει άπειρη διαπερατότητα, χρειάζεται ένα ρεύμα μαγνητίσεως για να δημιουργήσει ροή στον πυρήνα.
- R_c : Απώλειες στο μαγνητικό υλικό (απώλειες πυρήνα, core losses) λόγω υστέρησης (hysteresis) και δινορευμάτων Eddy (eddy currents).

Κινητήρας ac Ac motor

Δυο κύρια μέρη:

Στάτης (stator) —————> Ακίνητος

Δρομέας (rotor) —————> Ελεύθερος να κινηθεί

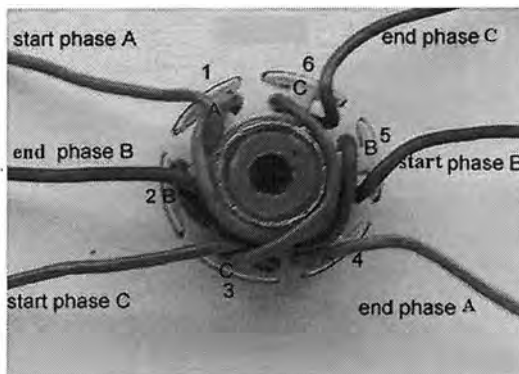
Υπάρχουν δυο μαγνητικά πεδία: ένα στο στάτη και ένα στο δρομέα

Αρα, πρέπει να δημιουργήσουμε ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο στάτη για να αναγκάσουμε το μαγνητικό πεδίο του δρομέα να το ακολουθά.

Αν μέσα από μια τριφασική περιέλιξη περνούν τρεις εντάσεις του ίδιου μέτρου αλλά με διαφορά φάσης 120° , τότε θα δημιουργηθεί ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο θα έχει σταθερό μέτρο.

Περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο Rotating magnetic field

Η τριφασική περιέλιξη αποτελείται από τρεις διαφορετικές περιελίξεις που είναι κατανομημένες γύρω από την επιφάνεια της μηχανής με 120° απόσταση η μια από την άλλη.



Ανάλογα με τον τρόπο περιέλιξης δημιουργούνται και οι μαγνητικοί πόλοι στις μηχανές (2, 4, ...).

Πηγή: <http://www.powerditto.de/Schemaengl.html>

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

Περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο Rotating magnetic field

Τι θα συμβεί αν βάλουμε δυο μαγνήτες τον ένα κοντά στον άλλο;

Επομένως, αν περιστρέφουμε τον ένα μαγνήτη συνεχώς, ο άλλος μαγνήτης θα τον “κυνηγά” συνεχώς. Αρα ο δεύτερος μαγνήτης θα περιστρέφεται.

Αυτή είναι η κύρια ιδέα λειτουργίας του κινητήρα ac.

Περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο Rotating magnetic field

Συνολική πυκνότητα μαγνητικής ροής:

$$\begin{aligned} B_{total}(t) &= B_{aa'}(t) + B_{bb'}(t) + B_{cc'}(t) \\ &= B_M \sin \omega t \angle 0^\circ + B_M \sin(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ + B_M \sin(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \\ &= 1.5 B_M [\sin \omega t - j \cos \omega t] \end{aligned}$$

$\Rightarrow$ Σταθερό μέτρο: $1.5 B_M$
Περιστροφή με γωνιακή ταχύτητα ω

Γιατί όμως δημιουργείται μαγνητικό πεδίο;

Έστω ότι έχουμε μια πηγή η οποία αναγκάζει τις ακόλουθες εντάσεις να ρέουν μέσω των περιελίξεων:

$$i_{aa'}(t) = I_M \sin \omega t \text{ A}$$

$$i_{bb'}(t) = I_M \sin(\omega t - 120^\circ) \text{ A}$$

$$i_{cc'}(t) = I_M \sin(\omega t - 240^\circ) \text{ A}$$

Ένταση μέσω περιελίξεως $\Rightarrow$ Ένταση μαγνητικού πεδίου H

$$H_{aa'}(t) = H_M \sin \omega t \angle 0^\circ \text{ AT/m}$$

$H_M \sin \omega t$: Μέτρο της έντασης μαγνητικού πεδίου

$\angle 0^\circ$: Γωνία του διανύσματος της έντασης μαγνητικού πεδίου

Παρατήρηση: Ενώ το μέτρο μεταβάλλεται, η φορά παραμένει σταθερή.

Επαγόμενη τάση (induced voltage) σε μηχανές ac

Τάση που επάγεται σε μια περιέλιξη λόγω παρουσίας σε μαγνητικό πεδίο:

$$e_{ind} = N_c \phi \omega \sin \omega t \text{ V}$$

N_c : αριθμός σπειρών στην περιέλιξη

ϕ : μαγνητική ροή

ω : γωνιακή ταχύτητα της περιστρεφόμενης μηχανής

Για τρία πηνία τοποθετημένα συμμετρικά σε ένα μαγνητικό πεδίο:

$$e_{aa'}(t) = N_c \phi \omega \sin \omega t \text{ V}$$

$$e_{bb'}(t) = N_c \phi \omega \sin(\omega t - 120^\circ) \text{ V}$$

$$e_{cc'}(t) = N_c \phi \omega \sin(\omega t - 240^\circ) \text{ V}$$

Περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο Rotating magnetic field

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να βρούμε τις άλλες δύο εντάσεις μαγνητικού πεδίου:

$$H_{bb'}(t) = H_M \sin(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ \text{ AT/m}$$

$$H_{cc'}(t) = H_M \sin(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \text{ AT/m}$$

Η πυκνότητα μαγνητικού πεδίου δίνεται από:

$$B = \mu H$$

Επομένως,

$$B_{aa'}(t) = B_M \sin \omega t \angle 0^\circ \text{ T}$$

$$B_{bb'}(t) = B_M \sin(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ \text{ T}$$

$$B_{cc'}(t) = B_M \sin(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \text{ T}$$

Απώλειες σε μηχανές ac

(α) Απώλειες χαλκού (copper losses, I^2R losses)

Λόγω της αντίστασης των περιελίξεων στο στάτη και στο δρομέα.

Απώλειες στάτη (stator copper losses): $P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$

Απώλειες δρομέα (rotor copper losses): $P_{RCL} = 3I_2^2 R_2$

(β) Απώλειες πυρήνα (core losses)

Απώλειες λόγω υστέρησης και των δινορευμάτων eddy στον μεταλλικό πυρήνα της μηχανής.

Απώλειες σε μηχανές ac

(γ) Απώλειες τριβής (friction losses)

Τριβή στα ρουλεμάν (bearings)

Τριβή στις ψήκτρες (brushes)

(δ) Απώλειες εξαερισμού (windage losses)

Τριβή μεταξύ των κινούμενων μερών της μηχανής και του αέρα

Μηχανικές απώλειες

(ε) Λοιπές απώλειες (stray losses, miscellaneous losses)

Είναι όλες οι μικρές απώλειες που δεν μπορούν να καταταχθούν σε κάποια άλλη κατηγορία

Επαγόμενη τάση (induced voltage) σε μηχανές ac

Η μέγιστη τάση που επάγεται σε μια φάση είναι:

$$E_{\max} = N_c \phi \omega$$

$$\text{Αφού } \omega = 2\pi f \Rightarrow E_{\max} = 2\pi N_c \phi f$$

Η ενεργός (rms) τιμή της τάσης δίνεται από:

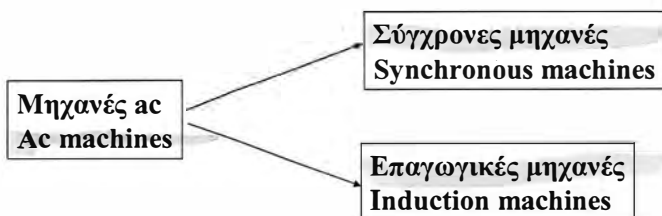
$$E_{rms} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N_c \phi f \Rightarrow E_{rms} = \sqrt{2} \pi N_c \phi f$$

Αποδοτικότητα

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}} \times 100\%$$

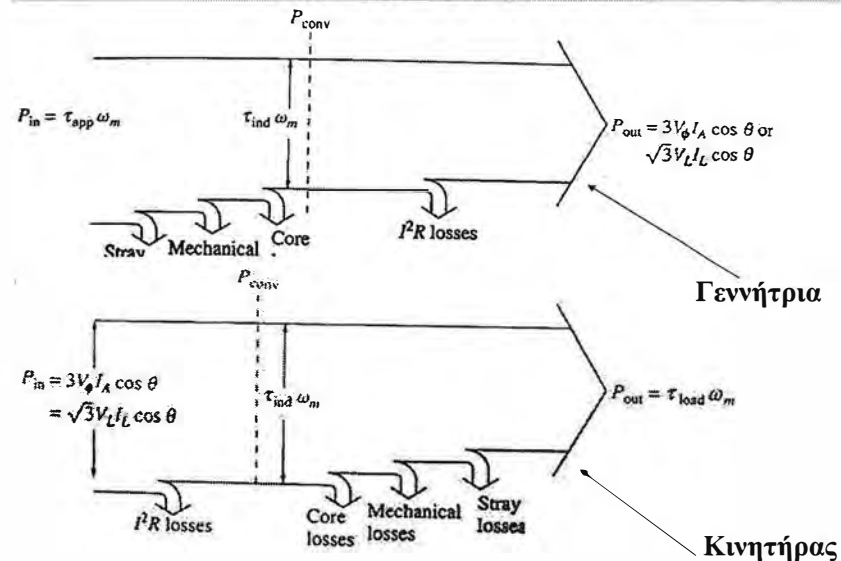
ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ



ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

- Είναι η ραχοκοκαλιά του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μεγάλες σύγχρονες μηχανές βρίσκονται στους σταθμούς παραγωγής.
- Κύρια μέρη: στάτης (stator) και δρομέας (rotor)
- Στάτης: Σιδερένιος κύλινδρος μέσα στον οποίο βρίσκονται τοποθετημένες στις αυλακώσεις (slots) οι περιελίξεις των τριών φάσεων.
- Δρομέας: Σιδερένιος, συμπαγής κύλινδρος ο οποίος φέρει μια περιέλιξη (περιέλιξη διέγερσης)

Διάγραμμα ροής ισχύος



Ρύθμιση τάσης και ρύθμιση ταχύτητας Voltage regulation and speed regulation

Ρύθμιση τάσης: Είναι ένα μέτρο της ικανότητας των γεννητριών να διατηρούν μια σταθερή τάση στα άκρα τους κατά τη μεταβολή του φορτίου τους.

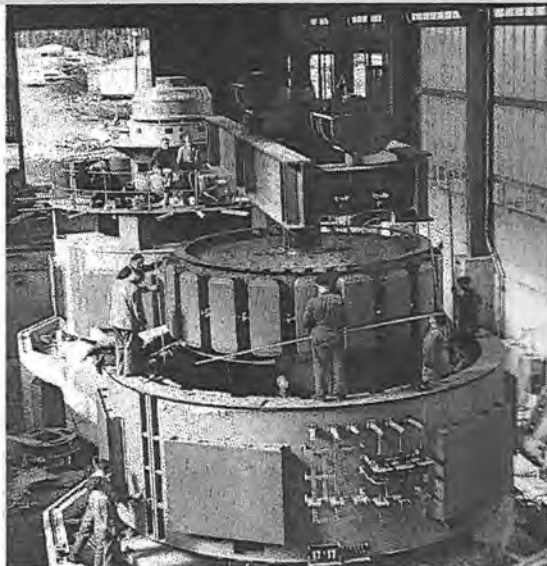
$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

Ρύθμιση ταχύτητας: Είναι ένα μέτρο της ικανότητας των κινητήρων να διατηρούν σταθερή την ταχύτητα του άξονα τους (shaft) κατά τη μεταβολή του φορτίου τους.

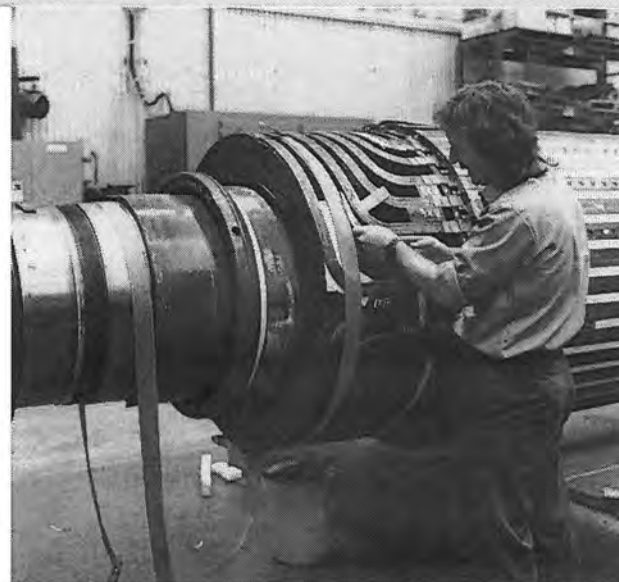
$$SR = \frac{n_{NL} - n_{FL}}{n_{FL}} \times 100\% \quad \text{ή} \quad SR = \frac{\omega_{NL} - \omega_{FL}}{\omega_{FL}} \times 100\%$$

(n : rpm, ω : rad/s)

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΡΟΜΕΑ ΣΤΟΝ ΣΤΑΤΗ



ΔΡΟΜΕΑΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ



ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

- Μέσα από την περιέλιξη διέγερσης του δρομέα, ρέει συνεχής ένταση (field current).
- Αυτό δημιουργεί ένα ηλεκτρομαγνήτη.
- Εάν περιστραφεί ο δρομέας (π.χ. μέσω ενός ατμοστροβίλου), τότε δημιουργείται ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο διάκενο μεταξύ δρομέα και στάτη.
- Επομένως, επάγεται τάση στις περιελίξεις του στάτη αφού βρίσκονται μέσα σε ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο (νόμος του Faraday) (induced voltage).
- Οι τρεις τάσεις στις περιελίξεις θα είναι ημιτονοειδείς (δεδομένου ότι η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι σταθερή και οι περιελίξεις είναι τοποθετημένες με συγκεκριμένο τρόπο) και θα έχουν διαφορά φάσης 120° (δεδομένου ότι οι περιελίξεις είναι γεωμετρικά τοποθετημένες με απόσταση 120° μεταξύ τους).

ΣΤΑΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Πυρήνας από ελάσματα σιδήρου
(με αυλακώσεις)

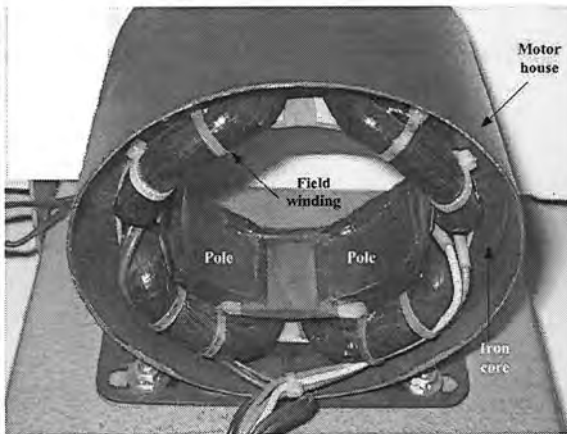
Μεταλλικό περίβλημα

Μονωμένες ράβδοι χαλκού
τοποθετημένες στις αυλακώσεις
για τη δημιουργία των
περιελίξεων στις τρεις φάσεις



ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τόσο στο στάτη όσο και στο δρομέα υπάρχουν αυλακώσεις (slots) για την τοποθέτηση αγωγών.



Στάτης κινητήρα dc [2]

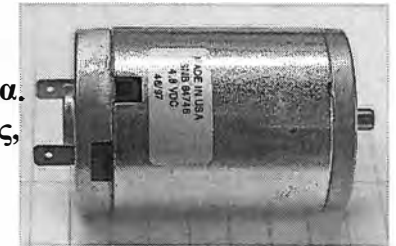
ΜΗΧΑΝΕΣ DC (DC MACHINES)



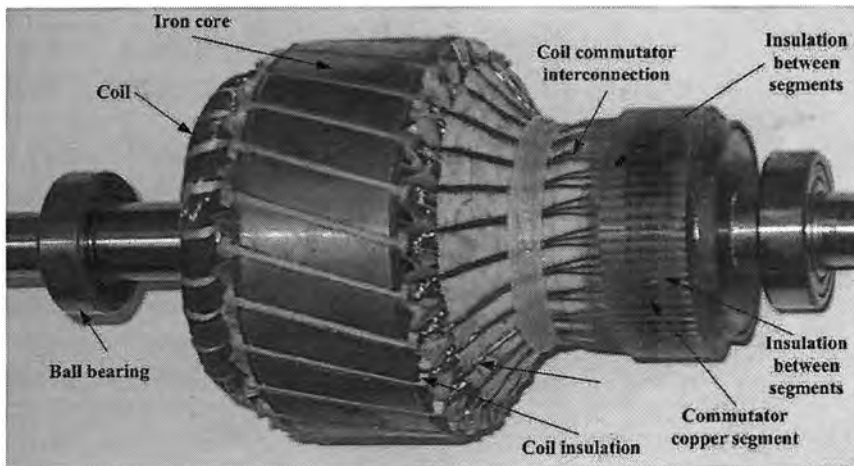
Πιο διαδεδομένη η χρήση των κινητήρων dc παρά των γεννητριών dc.

Εφαρμογές κινητήρων dc:

- Σε εφαρμογές όπου το ηλεκτρικό σύστημα είναι dc (αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα)
- Σε εφαρμογές όπου χρειάζονται μεγάλες εναλλαγές στην ταχύτητα.
- Σε διάφορα μηχανήματα (αντλίες, γερανούς, ανεμιστήρες).



ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ



Δρομέας κινητήρα dc [2]

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Οι περισσότερες μηχανές dc είναι όπως τις μηχανές ac, δηλαδή έχουν ac τάσεις και εντάσεις εσωτερικά.
- Η είσοδος ή η έξοδος τους όμως (ανάλογα αν είναι κινητήρας ή γεννήτρια) είναι dc. Έχουμε μετατροπή ac/dc μέσω ενός μηχανισμού που ονομάζεται μεταγωγός ή συλλέκτης (commutator).

Αποτελείται από δυο μέρη: το δρομέα (rotor) και το στάτη (stator)

Το εσωτερικό μέρος της μηχανής το οποίο κινείται ελεύθερα

Το εξωτερικό μέρος (ακίνητο)

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- S. J. Chapman, *Electric machinery and power system fundamentals*, New York: McGraw Hill, 2002.
- T. Wildi, *Electrical machines, drives, and power systems*, 5th ed., Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.
- G. G. Karady and K. Holbert, *Electrical energy conversion and transport: an interactive computer-based approach*, Piscataway: IEEE Press, 2005.
- Z. A. Yamayee and J. L. Bala Jr., *Electromechanical energy devices and power systems*, John Wiley and Sons, Inc., 1994.
- J. D. Glover and M. S. Sarma, *Power System Analysis and Design*, 3rd ed., Pacific Grove: Thomson Learning, 2002.