



Πανεπιστήμιο Κύπρου

Πρόγραμμα Προϋπηρεσιακής Κατάρτισης

ΠΡΥ 017 – Πολυτεχνικά και Τεχνικά Επαγγέλματα

Διαλέξεις 12-13

Παραγωγή και Διανομή Ηλεκτρική
Ενέργειας



Ηλίας Κυριακίδης (1975 - 2019)

Σύντομη ιστορία της Μηχανικής Ηλεκτρικής Ισχύος



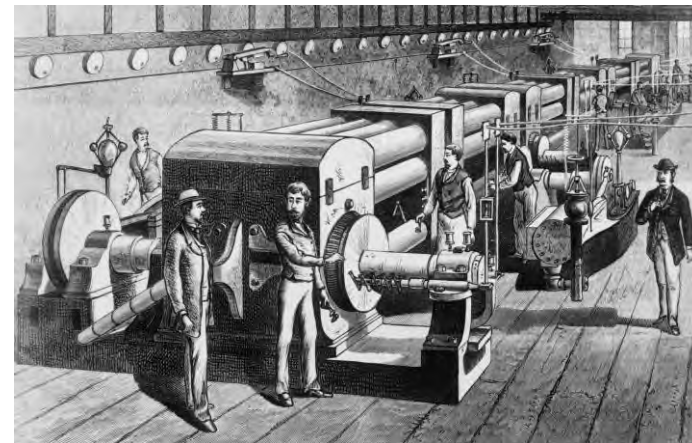
- Είναι ο πρώτος τομέας της Ηλεκτρολογικής Μηχανικής.
- **1800-1819:** Πρώτα πειράματα με συνεχές ρεύμα. Πρώτες κατασκευές μπαταριών (Alessandro Volta, Humphry Davy).
- **1820:** Ανακάλυψη ότι το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να μεταβάλει τη κατεύθυνση της πυξίδας (Hans Christian Ørsted)
- **1831:** Κατασκευή της πρώτης ηλεκτρικής γεννήτριας και απόδειξη ότι η μηχανική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική (Michael Faraday). Αρχίζει η κούρσα για κατασκευή πιο πρακτικών γεννητριών.
- **1879:** Ο Thomas Edison τελειοποίησε τον λαμπτήρα πυρακτώσεως (incandescent lamp), τους διακόπτες, τις ασφάλειες και τα καλώδια.



Σύντομη ιστορία της Μηχανικής Ηλεκτρικής Ισχύος



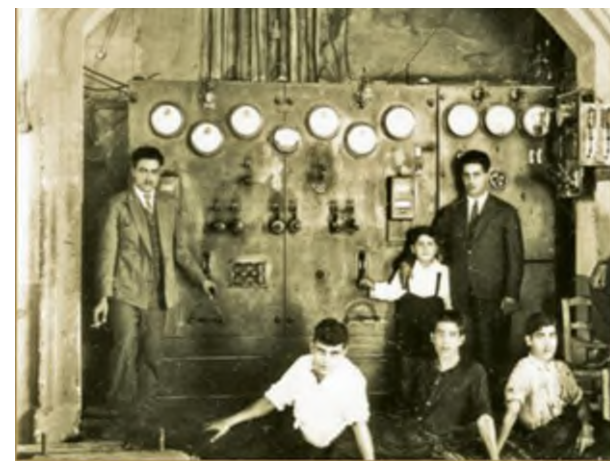
- **1882:** Λειτουργήσε ο πρώτος εμπορικός ηλεκτροπαραγωγός σταθμός από τον Thomas Edison (Pearl Street, lower Manhattan) (με συνεχές ρεύμα).
- **1887:** Θεωρία του εναλλασσόμενου ρεύματος και ακολούθως εφαρμογή του συστήματος σε αντικατάσταση του συστήματος συνεχούς ρεύματος (Nikola Tesla) (επινόηση του μετασχηματιστή).
- Στη συνέχεια παρατηρήθηκε ραγδαία ανάπτυξη της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αύξηση της χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος, ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας.
- Σήμερα, ο κλάδος αυτός συνεχίζει να αναπτύσσεται, επιλύει υπάρχοντα προβλήματα και ασχολείται με την τελευταία λέξη της τεχνολογίας.



Η ιστορία του ηλεκτρισμού στην Κύπρο



- **1903:** Εγκατάσταση από την αποικιακή αγγλική κυβέρνηση μιας ηλεκτρογεννήτριας για τις ανάγκες της Αρμοστείας στη Λευκωσία και μιας για το Γενικό Νοσοκομείο Λευκωσίας.
- **1912:** Ιδρύεται εταιρεία ηλεκτρισμού στη Λεμεσό και εγκαθιδρύθηκε μηχανοστάσιο με ηλεκτρογεννήτριες (Ηλεκτροφωτιστική Εταιρεία Λεμεσού)
- **1913:** Ίδρυση Ηλεκτρικής Εταιρείας Λευκωσίας
- **1922-1927:** Ίδρυση Δημοτικών Ηλεκτρικών Επιχειρήσεων στις άλλες πόλεις και σε μερικά αγροτικά κέντρα
- **1952:** Ίδρυση Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου (εγκαθίδρυση ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Δεκέλειας (1953: 84 MW))
- **1966-1976:** Εγκαθίδρυση ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Μονής (180 MW)
- **1982-1993:** Εγκαθίδρυση ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Δεκέλειας Β' (360 MW), τέλος ωφέλιμης λειτουργίας σταθμού Δεκέλειας Α'
- **1994:** Εγκαθίδρυση ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού (πρώτη φάση, 298 MW)

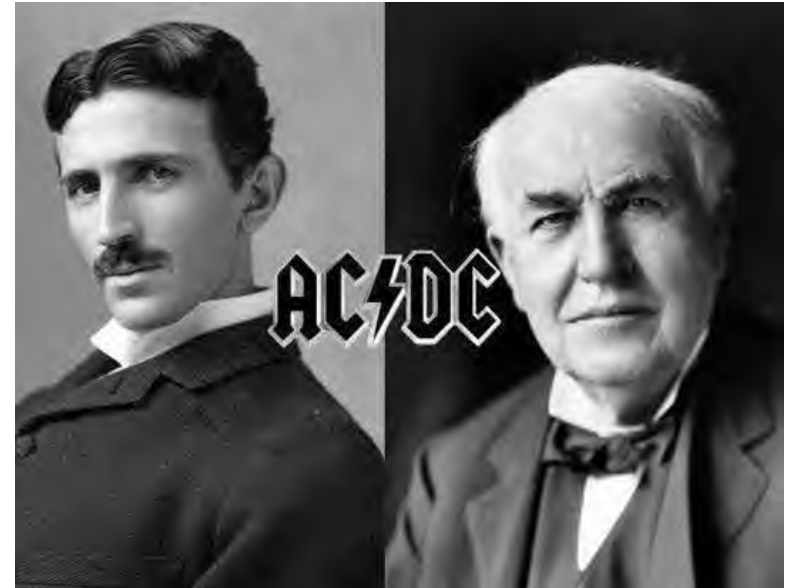


Η 1η πόλη της Κύπρου που ηλεκτροφωτίζεται, 1912

Γιατί χρησιμοποιούμε AC;



- Το DC μοιάζει τόσο πιο απλό!
- Τέλος 19^{ου} αιώνα → Ο πόλεμος των ρευμάτων
 - Edison (DC) εναντίον Tesla / Westinghouse (AC)
 - Ο Edison ίδρυσε τον πρώτο εμπορικό ηλεκτροπαραγωγό σταθμό DC στη Νέα Υόρκη το 1862
 - Ο Tesla, που προσλήφθηκε από τον George Westinghouse, πίστευε ότι το AC είναι ανώτερο
 - Ο Tesla είχε δίκιο, αλλά ο Edison δεν τα έβαζε κάτω!
 - Μέχρι το 1895 το DC τελείωσε και έμεινε το AC

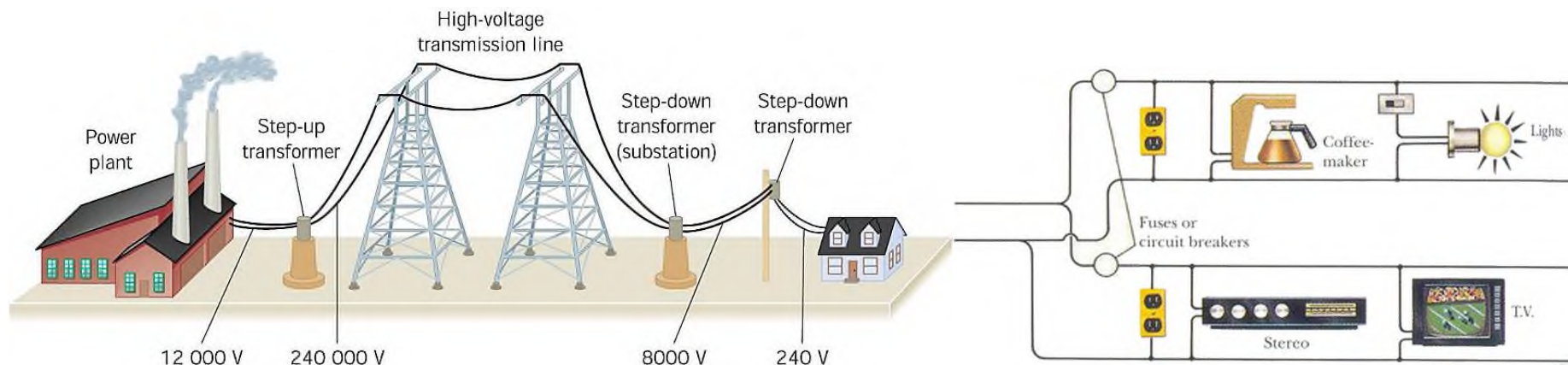


Γιατί χρησιμοποιούμε AC;



- **Γιατί το AC είναι καλύτερο από το DC**

- Ευκολότερη παραγωγή απευθείας από τη γεννήτρια
 - Όταν ένα πηνίο περιστρέφεται μέσα σε ένα μαγνήτη, παράγεται ηλεκτρισμός AC
- Η τάση μπορεί εύκολα να ψηλώσει ή να χαμηλώσει (με μετασχηματιστές) σε οποιαδήποτε απαιτούμενη τιμή

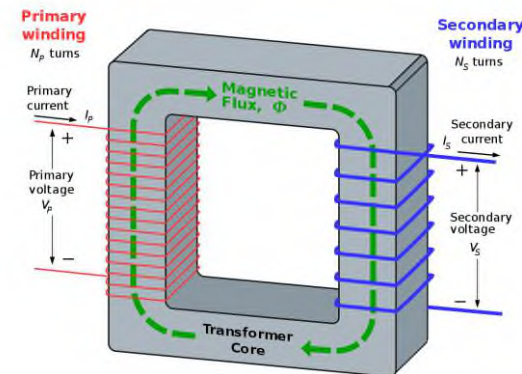


Γιατί χρησιμοποιούμε AC;

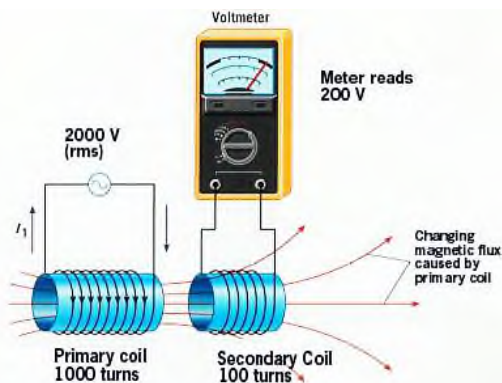


• Μετασχηματιστής

- Μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από το ένα κύκλωμα στο άλλο
- Το επιτυγχάνει αυτό με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή
 - Όταν τα δύο ηλεκτρικά κυκλώματα αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους
 - Ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο προκαλείται σε ένα πηνίο όταν αλλάζει το ρεύμα στο γειτονικό πηνίο
- Κατασκευή
 - Περιτυλίξεις γύρω από τις δύο πλευρές ενός μονωμένου μεταλλικού πυρήνα
 - Ο λόγος μετασχηματισμού α δίνεται από τον τύπο



$$a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

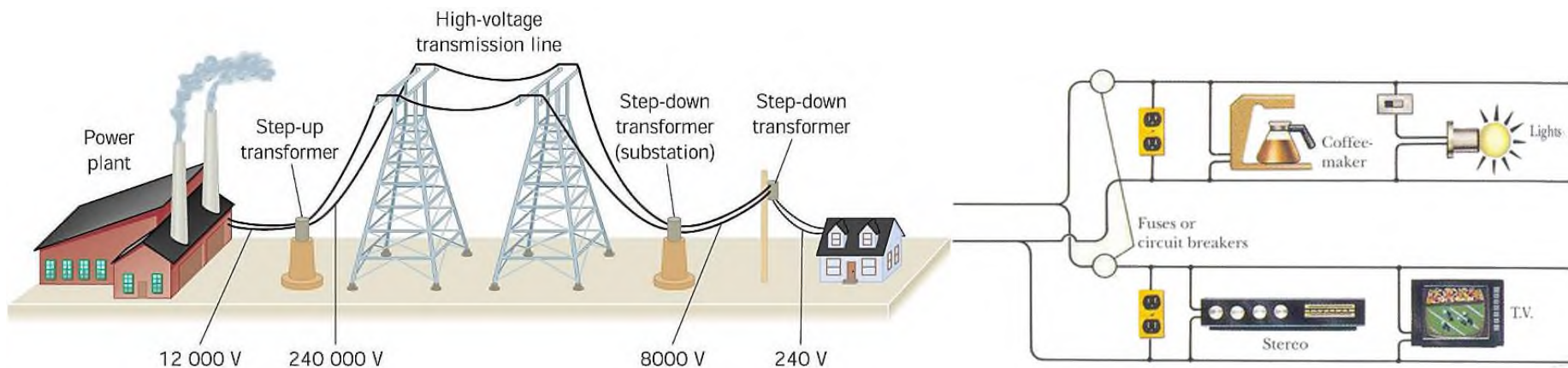


Γιατί χρησιμοποιούμε AC;



- **Γιατί το AC είναι καλύτερο από το DC**

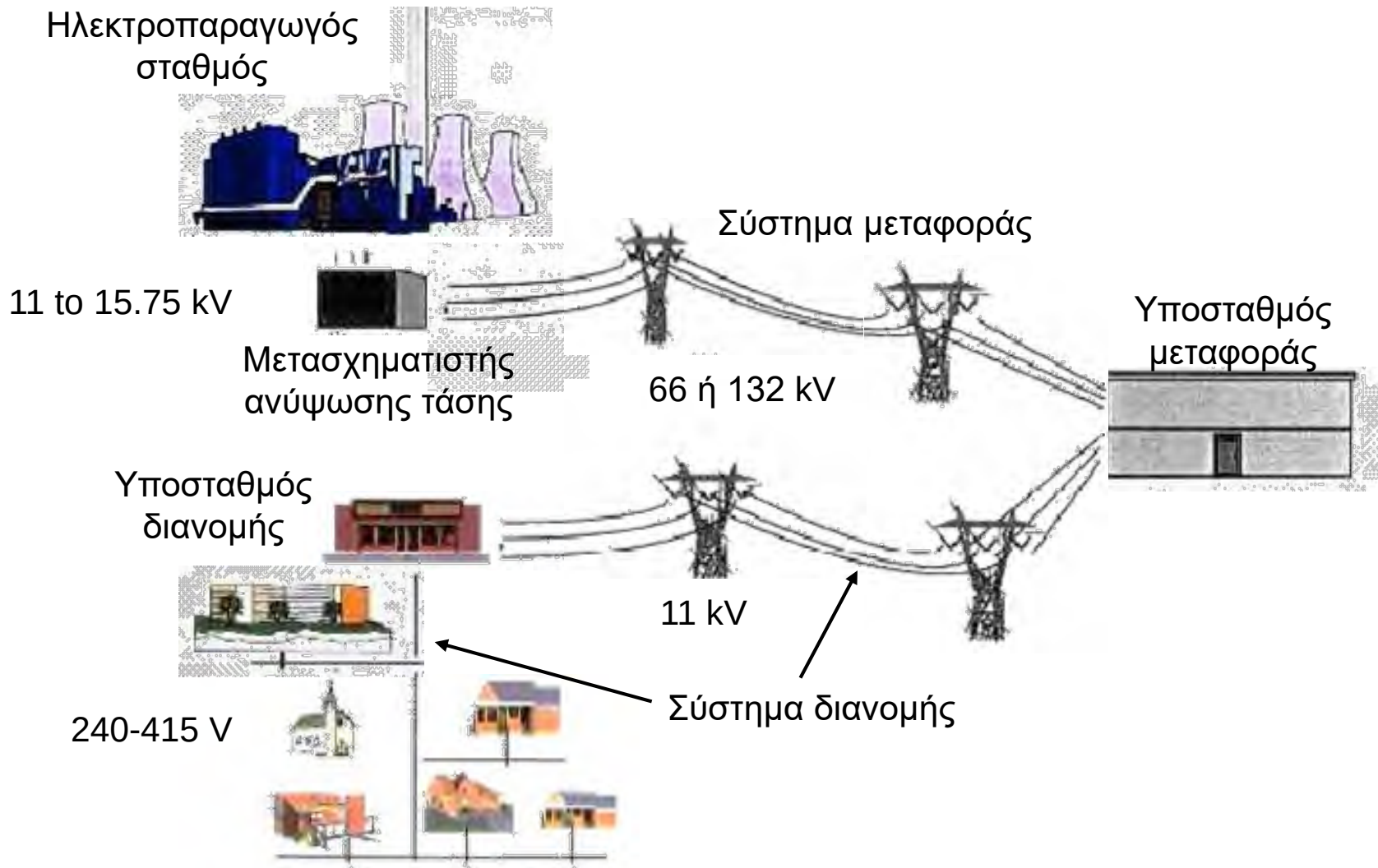
- Φθηνότερη μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις από τη στιγμή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ψηλή τάση
 - $P = IV \rightarrow$ Αυξάνοντας την τάση, μειώνεται το ρεύμα
 - Απώλειες: $P = I^2R \rightarrow$ Σημαντική μείωση
 - $\frac{1}{2}$ τάση $\rightarrow \frac{1}{2}$ ρεύμα $\rightarrow \frac{1}{4}$ απώλειες
- Η αντίσταση είναι σταθερή και είναι ανάλογη της απόστασης
- Η μονάδες παραγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος μπορούν να βρίσκονται μακριά από τους χρήστες $\rightarrow$ χρειάζονται λιγότεροι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί



Τι είναι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας;



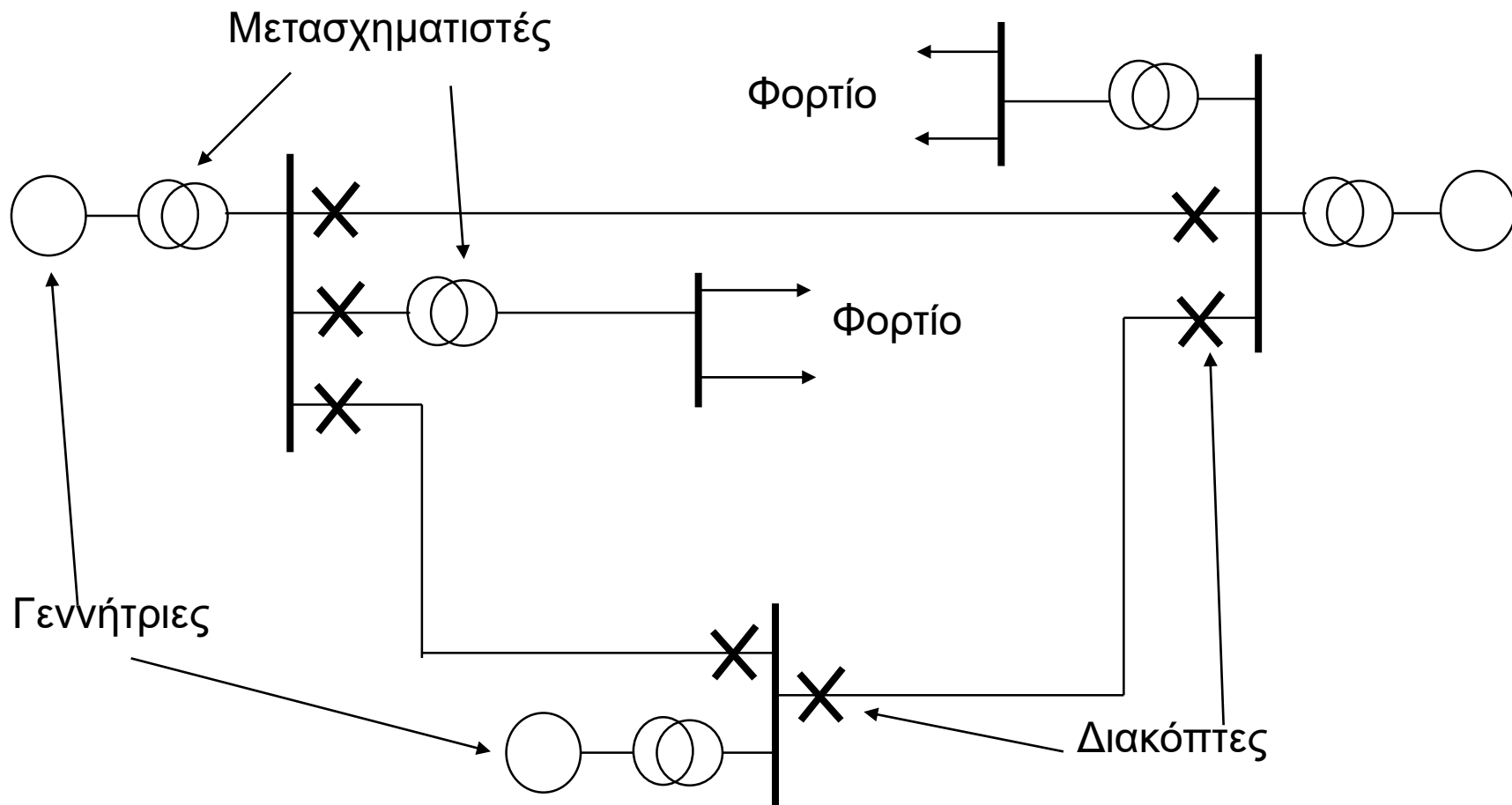
- Είναι το μεγαλύτερο και πιο σύνθετο δυναμικό σύστημα που κτίστηκε ποτέ από ανθρώπους



Τι είναι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας;



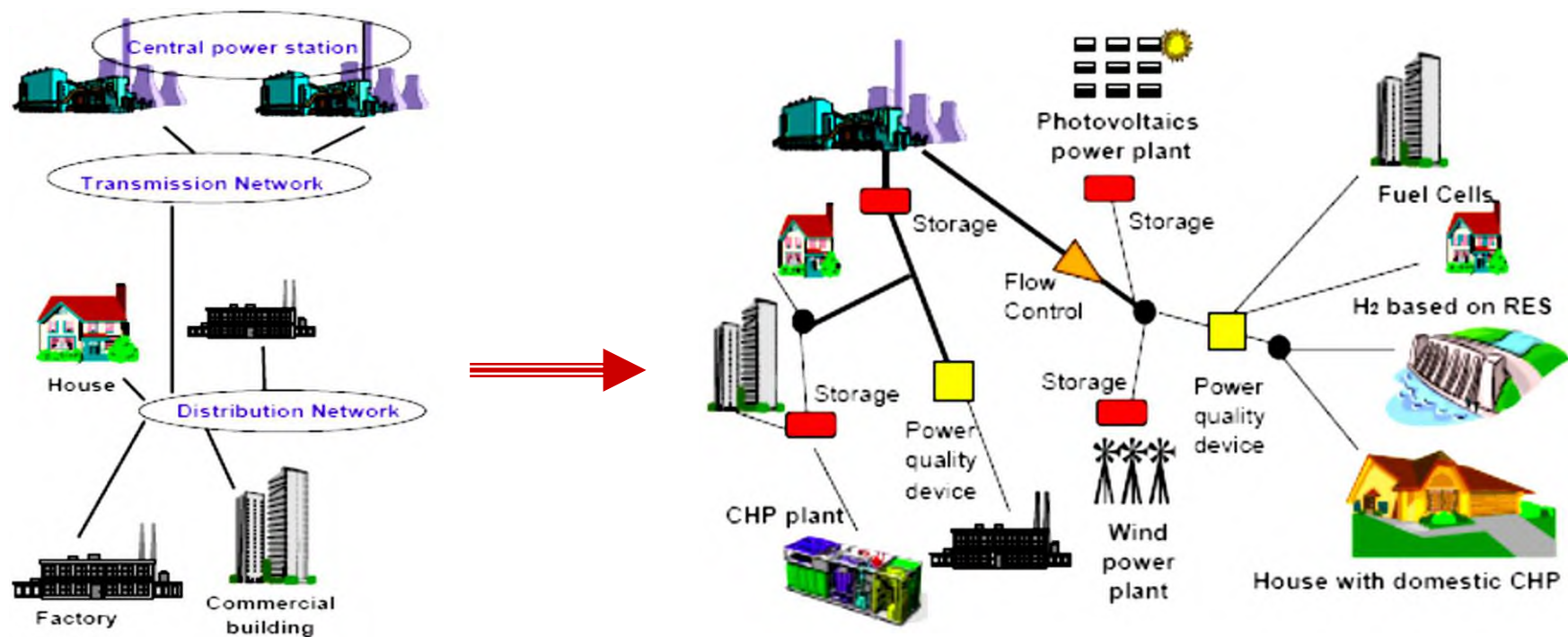
- Απλό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας



Τι είναι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας;



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





• Παραγωγή Ενέργειας στην Κύπρο

- Κόστος ενέργειας: περίπου 7 σεντ/kWh κατά μέσο όρο (Εξαρτάται από την τιμή του καυσίμου και την κατανάλωση του πελάτη)

Σταθμός Βασιλικού		
3 x 130 MW Ατμοηλεκτρικές Μονάδες	390 MW	34,5%
1 x 38 MW Αεριοστρόβιλος	38 MW	
2 x 220 MW Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου	440 MW	
Σταθμός Δεκέλειας		
6 x 60 MW Ατμοηλεκτρικές Μονάδες	360 MW	65,2%
2 x 50 MW Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	100 MW	
Σταθμός Μονής		
4 x 37,5 MW Αεριοστρόβιλοι	150 MW	0,3%
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς	1478 MW	100 %





- **Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί**

- **Θερμικοί**

- Συμβατικοί (Conventional)

- Ατμοηλεκτρικοί (Steam turbines)
 - Αεριοστροβιλικοί (Gas turbines)
 - Συνδυασμένου κύκλου (Combined cycle)
 - Εσωτερικής καύσης (Internal combustion)

- **Πυρηνικοί (Nuclear)**

- **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)**

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





- **Θερμικοί Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί**

- Χημική Ενέργεια → Θερμότητα → Μηχανική Ενέργεια → Ηλεκτρική Ενέργεια
- Συμβατικές (Conventional) Πηγές Ενέργειας
 - Πετρέλαιο (μαζούτ) (oil)
 - Κάρβουνο (coal)
 - Φυσικό αέριο (natural gas)
- Πυρηνική ενέργεια (nuclear energy)



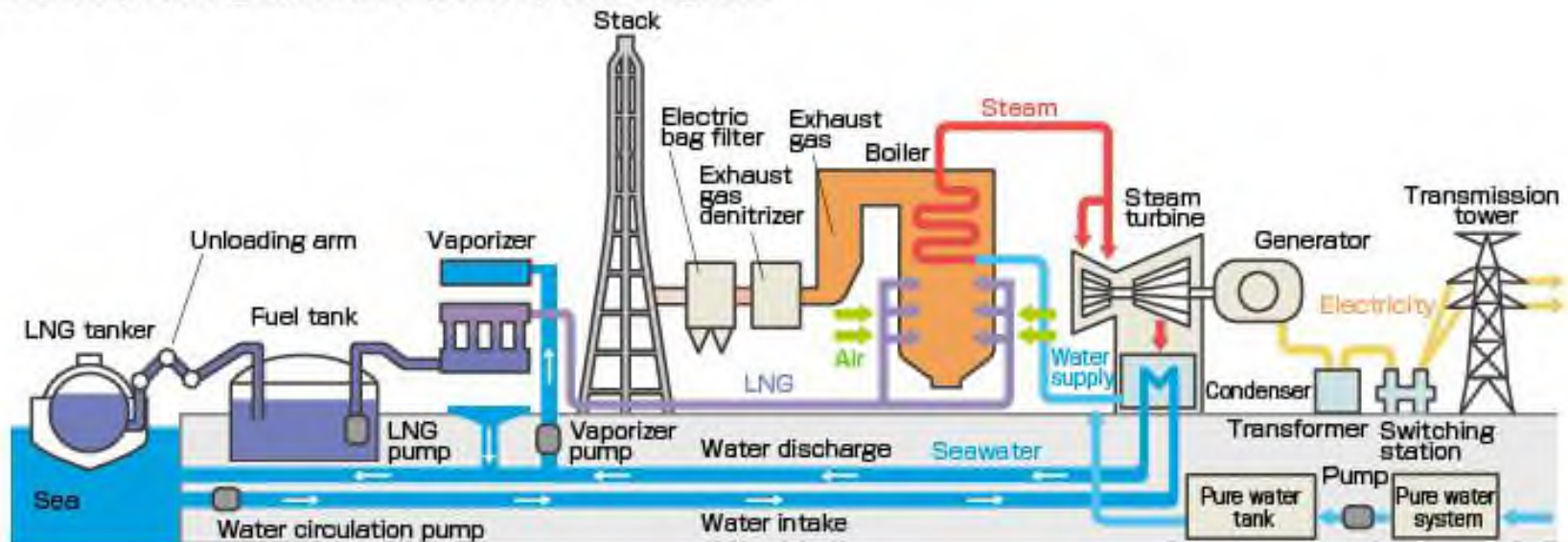


- **Θερμικοί Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί**

- **Ατμοηλεκτρικοί (Steam turbines)**

- Χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα (κάρβουνο, μαζούτ, φυσικό αέριο)
 - Καίγονται στο λέβητα για να δημιουργήσουν υπέρθερμο ατμό
 - Ο ατμός κινεί το στρόβιλο.
 - Απόδοση 30-45%, πολύ αργή εκκίνηση (πολλές ώρες), μικρό λειτουργικό κόστος.
 - Στην Κύπρο: 750 MW (~ 50%)

Steam power generation (conceptual diagram)



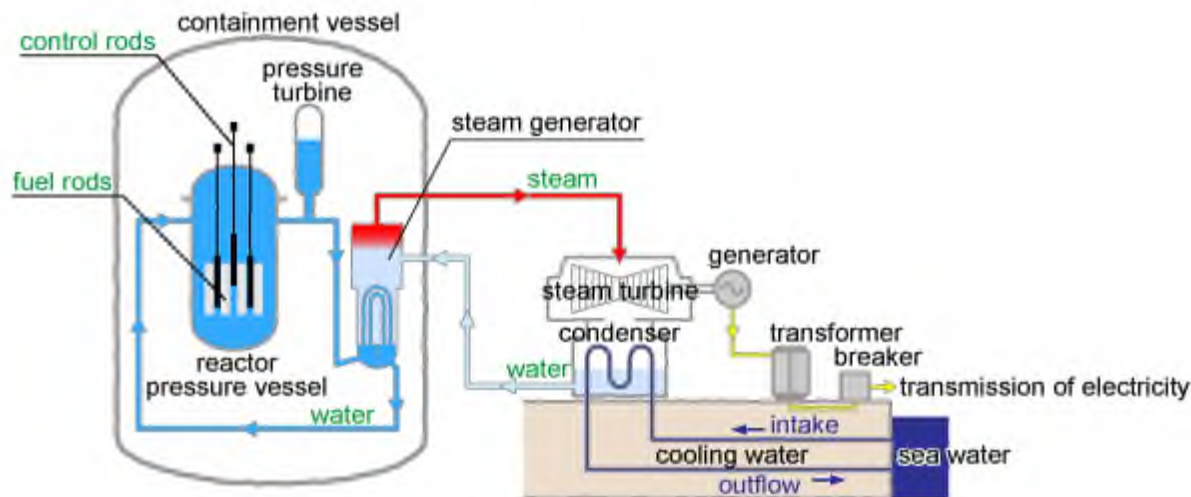


- **Θερμικοί Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί**

- **Ατμοηλεκτρικοί (Steam turbines)**

- Χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα (κάρβουνο, μαζούτ, φυσικό αέριο)
 - Καίγονται στο λέβητα για να δημιουργήσουν υπέρθερμο ατμό
 - Ο ατμός κινεί το στρόβιλο.
 - Απόδοση 30-45%, πολύ αργή εκκίνηση (πολλές ώρες), μικρό λειτουργικό κόστος.
 - Στην Κύπρο: 750 MW (~ 50%)

Pressurized water reactor (PWR)



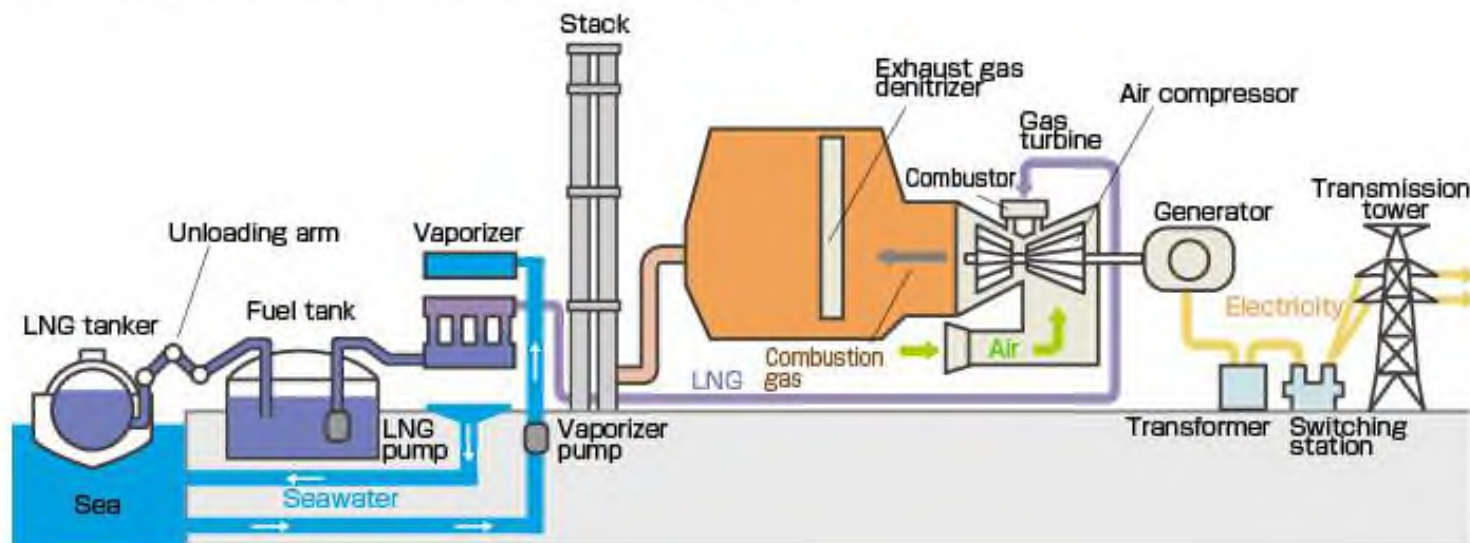


- **Θερμικοί Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί**

- **Αεριοστροβιλικό (Gas turbines):**

- Ο ατμοσφαιρικός αέρας συμπιέζεται και οδηγείται στον θάλαμο καύσης
 - 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
 - Στην Κύπρο: 188 MW (~ 13%)

Gas turbine power generation (conceptual diagram)

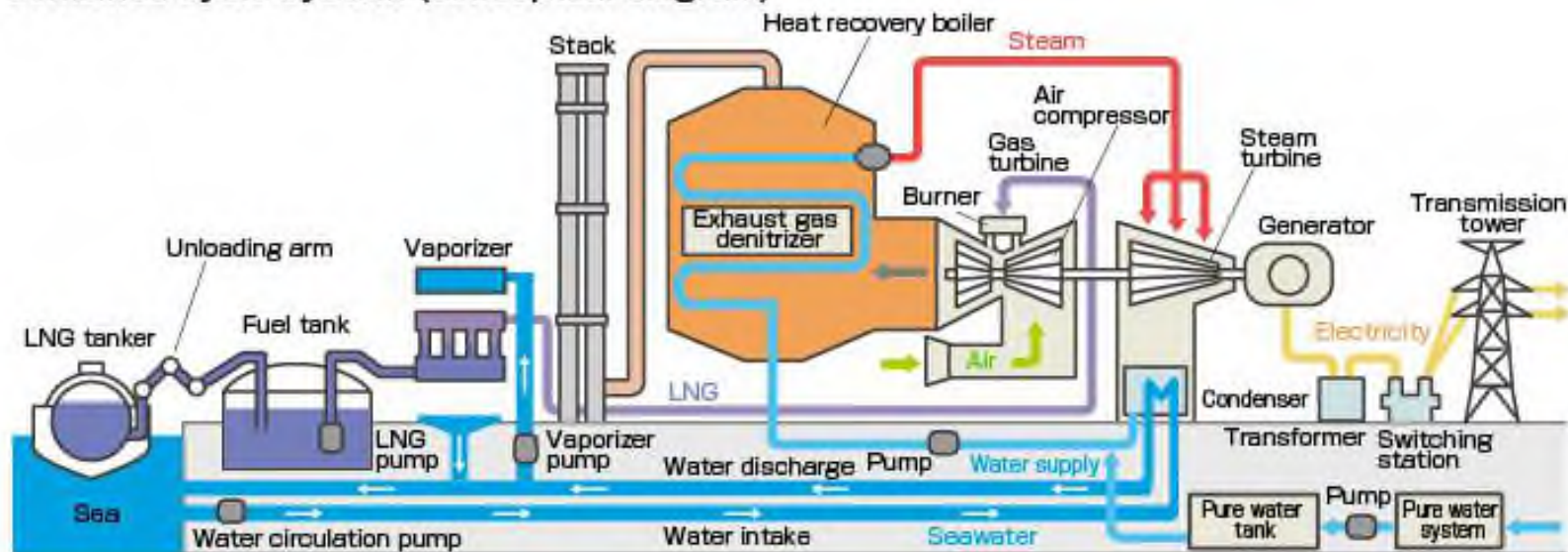




• Θερμικοί Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί

- Συνδυασμένου κύκλου (Combined cycle):
 - Συνδυασμός αεριοστροβιλικού και ατμοηλεκτρικού σταθμού.
 - Τα αέρια από την έξοδο του αεριοστρόβιλου διοχετεύονται σε ένα άλλο λέβητα όπου παράγεται ατμός που κινεί ατμοστρόβιλο.
 - Απόδοση 50%
 - Στην Κύπρο: 440 MW (~ 30%)

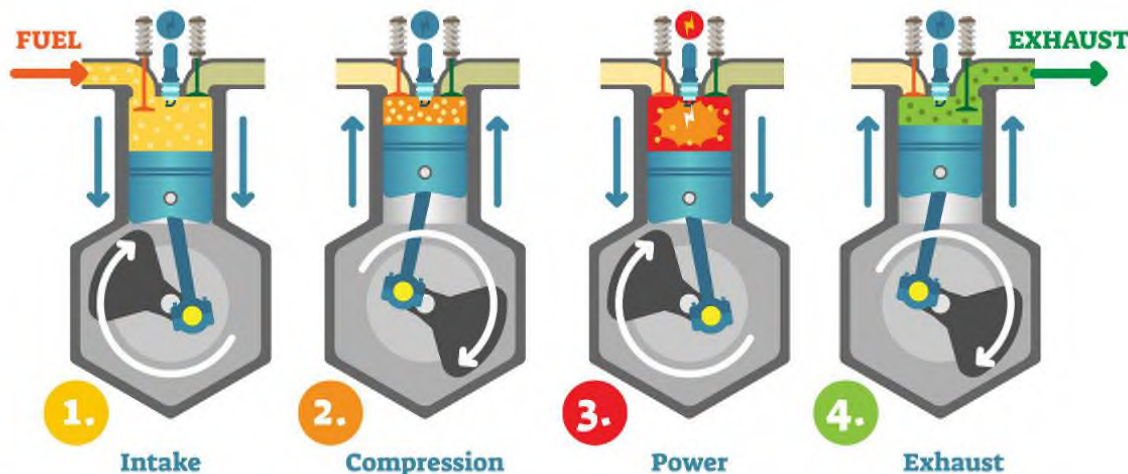
Combined cycle system (conceptual diagram)





- **Θερμικοί Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί**

- 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.
 - Στην Κύπρο: 100 MW (~ 7%)





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

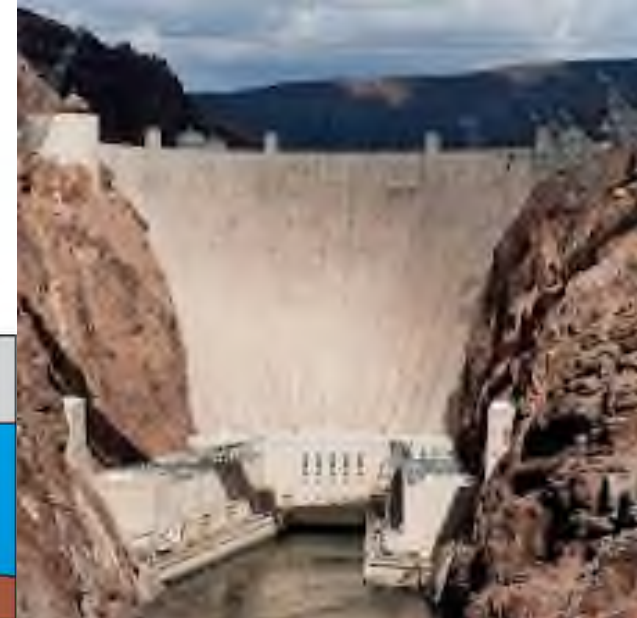
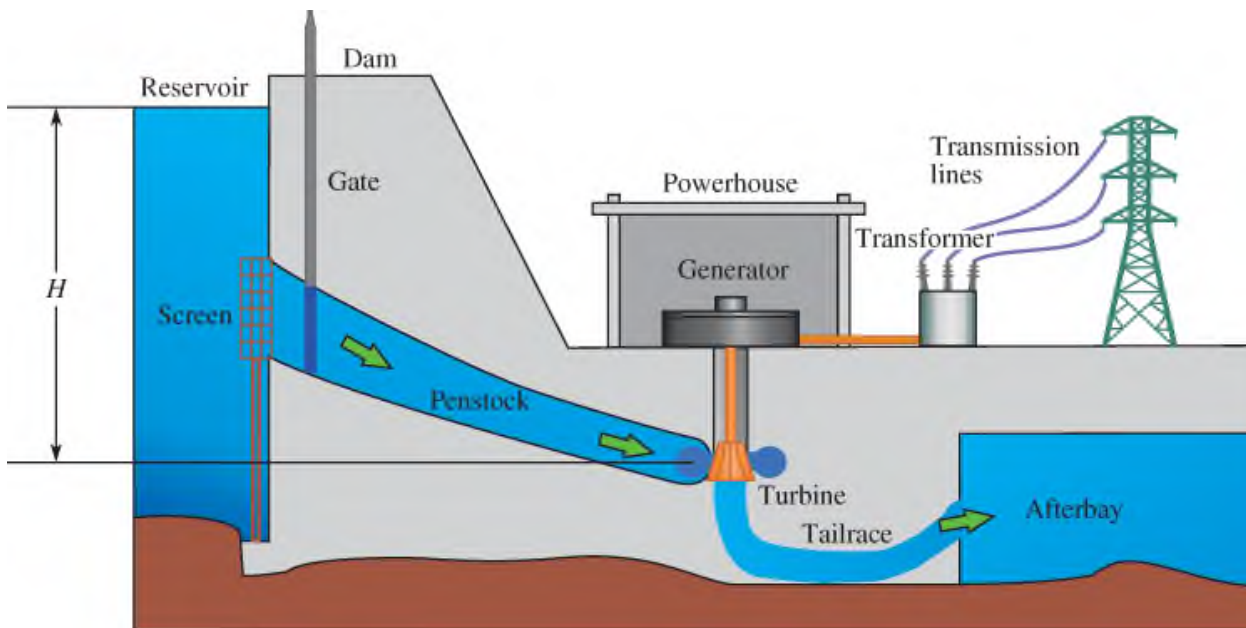
- Υδροηλεκτρική ενέργεια (hydroelectric energy)
- Αιολική ενέργεια (wind energy)
- Ηλιακή ενέργεια (solar energy)
- Γεωθερμική ενέργεια (geothermal energy)
- Βιομάζα (biomass)
- Παλιρροιακή ενέργεια (tidal energy)





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

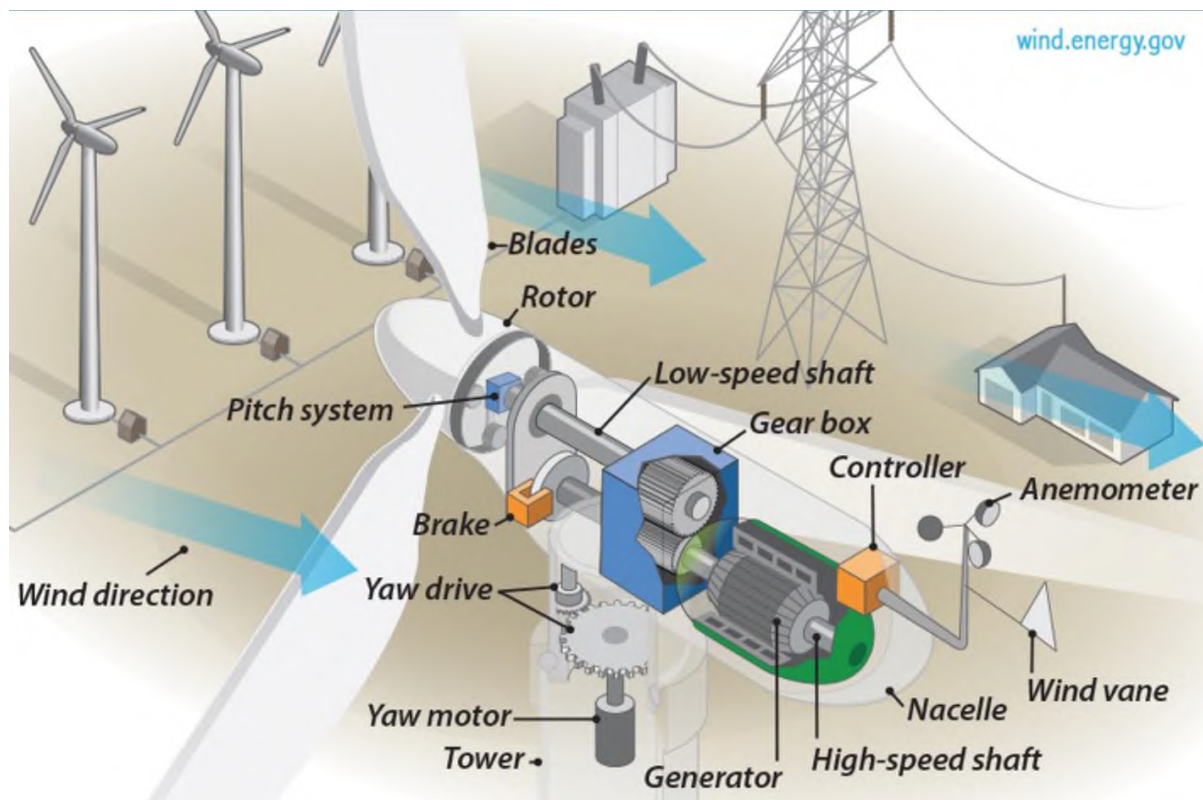
- Υδροηλεκτρική ενέργεια (hydroelectric energy)
 - Δυναμική Ενέργεια → Μηχανική Ενέργεια → Ηλεκτρική Ενέργεια
 - Φυσικής ροής
 - Δεξαμενής
 - Υδροαντλητικοί (pumped storage)





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

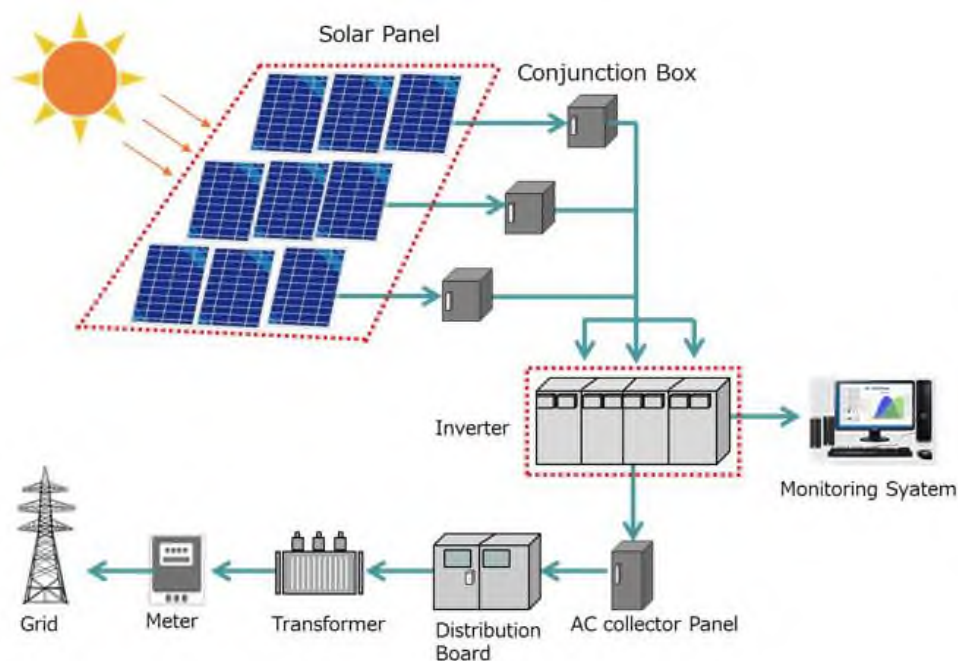
- Αιολική ενέργεια (wind energy)
 - Κινητική Ενέργεια → Μηχανική Ενέργεια → Ηλεκτρική Ενέργεια





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

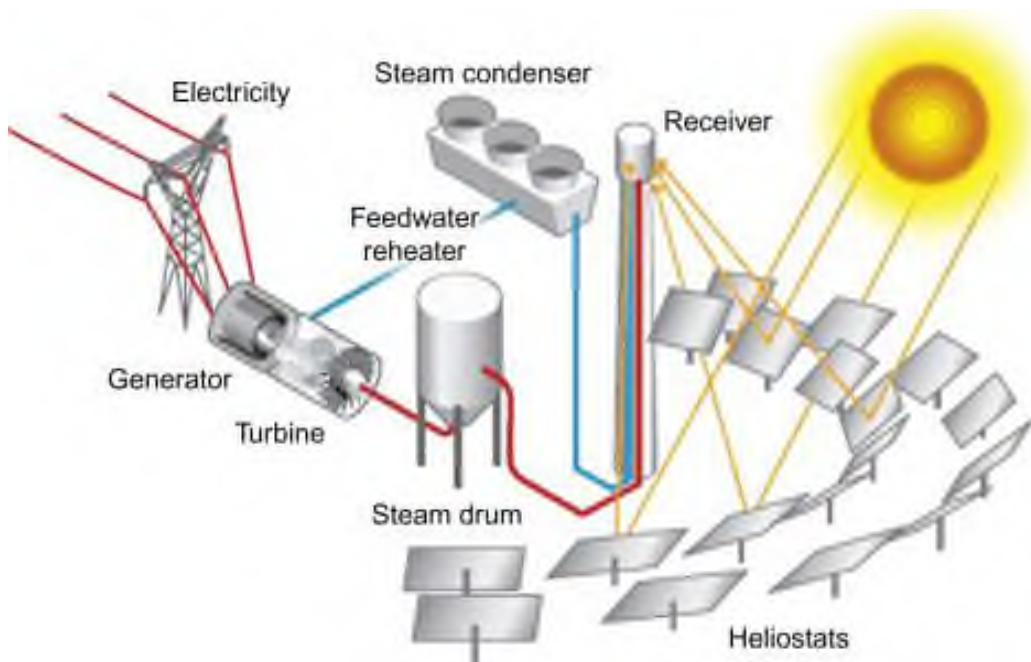
- Ηλιακή ενέργεια (solar energy)
 - Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία → Ηλεκτρική ενέργεια
 - Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία → Θερμότητα → Μηχανική Ενέργεια → Ηλεκτρική Ενέργεια





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

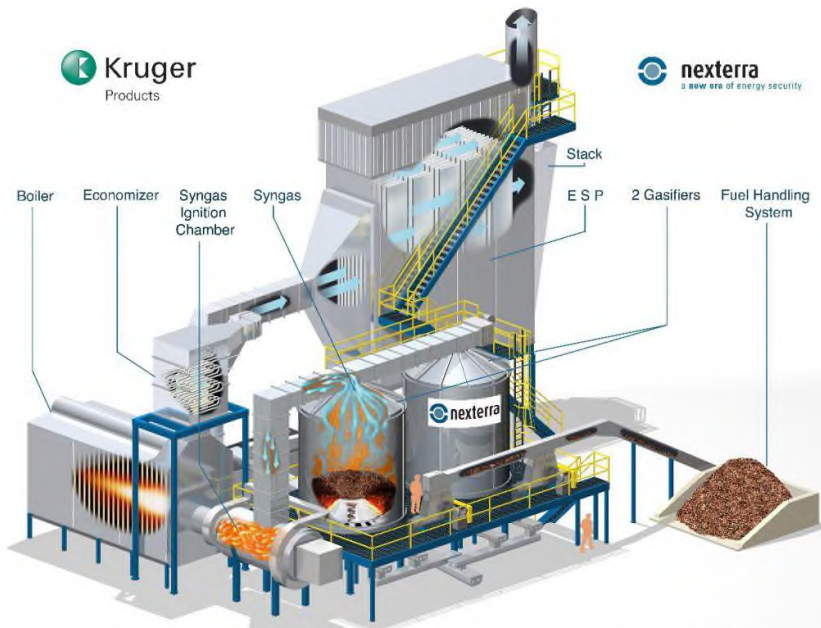
- Ηλιακή ενέργεια (solar energy)
 - Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία → Ηλεκτρική ενέργεια
 - Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία → Θερμότητα → Μηχανική Ενέργεια → Ηλεκτρική Ενέργεια



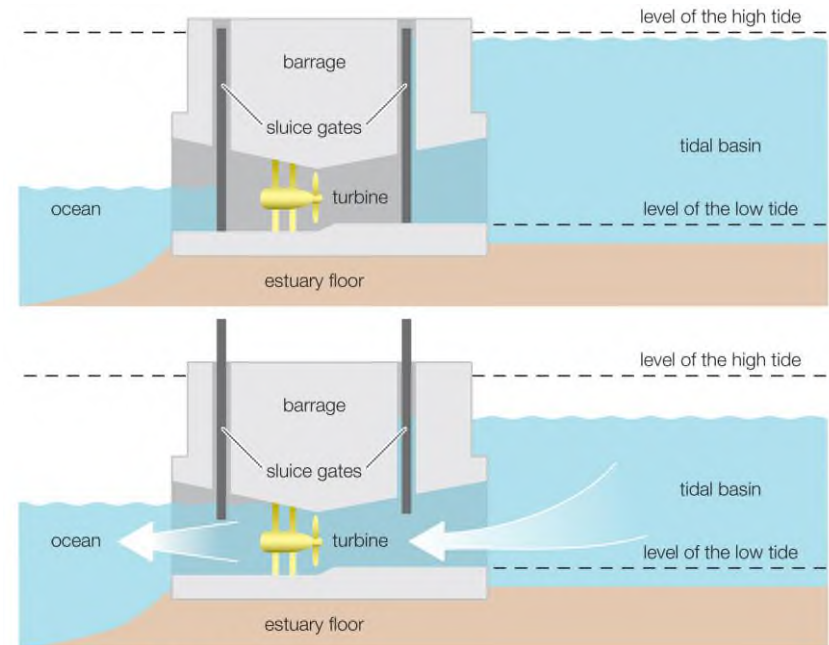


- **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) - Renewable Energy Sources (RES)**

- Βιομάζα (biomass)
 - Αέρια → Θερμότητα → Μηχανική Ενέργεια → Ηλεκτρική Ενέργεια
- Παλιρροιακή ενέργεια (tidal energy)
 - Δυναμική Ενέργεια → Μηχανική Ενέργεια → Ηλεκτρική Ενέργεια
- Γεωθερμική ενέργεια (geothermal energy)
 - Φυσική Θερμότητα → Μηχανική Ενέργεια → Ηλεκτρική Ενέργεια



Nexterra Gasification System at Kruger Products Tissue Mill in New Westminster B.C.



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.



- **Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας**

- Μπαταρίες
 - Πολύ ακριβή μέθοδος, πρακτικά αδύνατη για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας
- Υδρογόνο
- Υδροηλεκτρική Αντλία

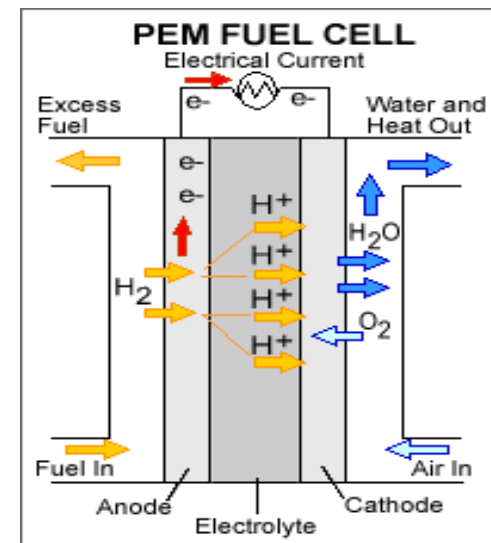




- Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

- Υδρογόνο

- Το υδρογόνο δεν είναι πηγή ενέργειας, είναι μια ενδιάμεση αποθήκη
 - Μετατροπή ενέργειας σε υδρογόνο, αποθήκευση, και μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια
 - Για να το πάρουμε από τις χημικές ενώσεις πρέπει να σπαταλήσουμε ενέργεια (περισσότερη από όση θα πάρουμε πίσω).
- Η οικονομία υδρογόνου
 - Παραγωγή από πηγές ενέργειας, αποθήκευση, διανομή και μετατροπή σε άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. ηλεκτρική και θερμική ενέργεια)
- 4 κύρια στάδια (απαιτούνται μεγάλες επενδύσεις και μεγάλες αλλαγές στην υποδομή)
 - Πηγή υδρογόνου και παραγωγή υδρογόνου
 - Αποθήκευση υδρογόνου
 - Διανομή υδρογόνου
 - Μετατροπή σε άλλες μορφές ενέργειας
- Κυψέλες Καυσίμου
 - Επιτρέπουν την μετατροπή υδρογόνου σε ηλεκτρισμό (αποδοτικότητα συνήθως 40-60%).
 - Δεν προκαλούν μόλυνση στο περιβάλλον αφού τα υποπροϊόντα είναι νερό και θερμότητα.
 - Λειτουργία
 - Άτομα υδρογόνου εισρέουν στην κυψέλη μέσω της ανόδου, όπου μια χημική αντίδραση τους αφαιρεί τα ηλεκτρόνια.
 - Το υδρογόνο και το οξυγόνο ενώνονται δημιουργώντας νερό και θερμότητα.

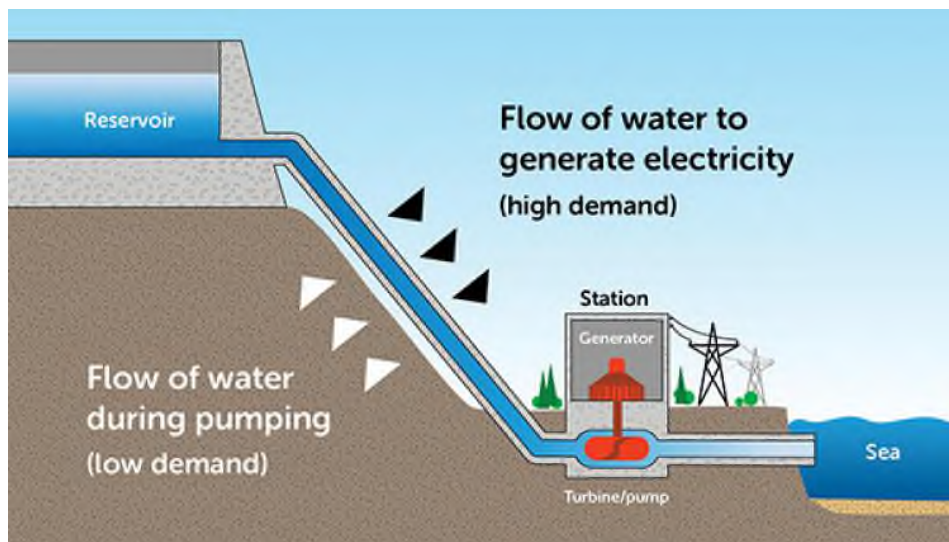




- **Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας**

- Υδροηλεκτρική Αντλία

- Ώρες χαμηλής ζήτησης → αντλία αποθηκεύει νερό
 - Ώρες αυξημένης ζήτησης → γεννήτρια παράγει ηλεκτρισμό





• Σύγχρονες Μηχανές

- 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)



Δρομέας (rotor) μιας γεννήτριας 200 MW

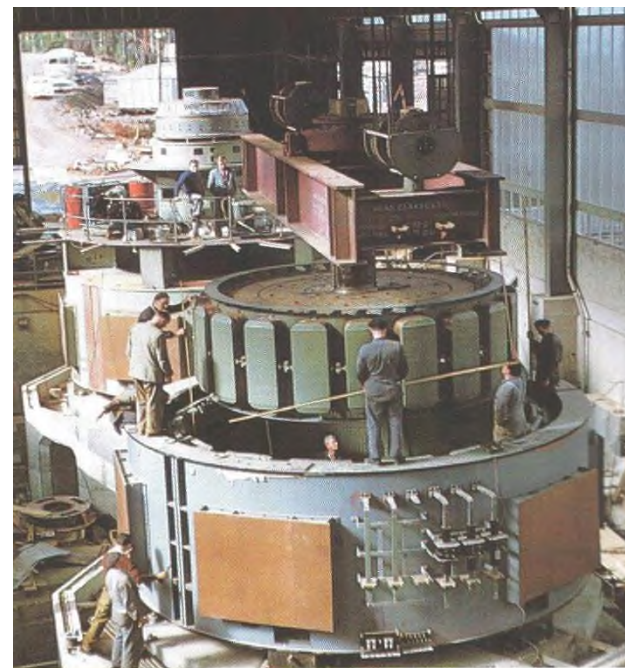


Στάτης (stator)



• Σύγχρονες Μηχανές

- 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)

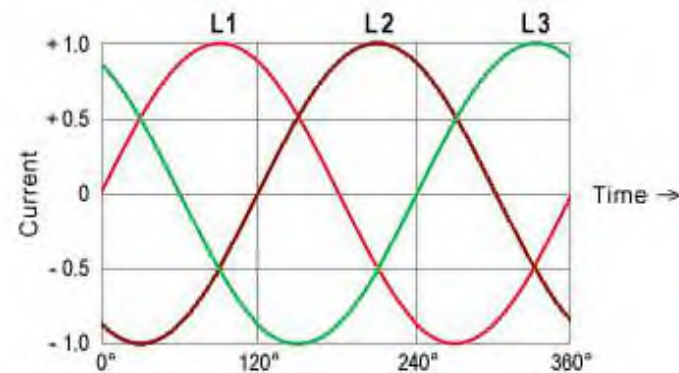
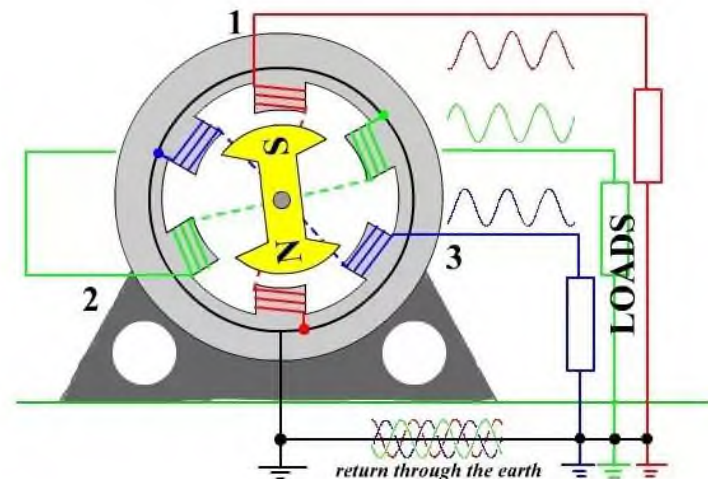


Εγκατάσταση δρομέα στον στάτη



• Σύγχρονη Γεννήτρια

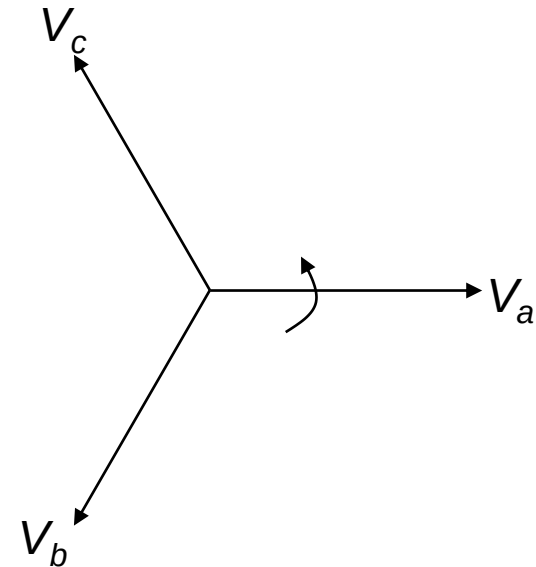
- Μέσα από την περιέλιξη διέγερσης του δρομέα, ρέει συνεχές ρεύμα (field current) → ηλεκτρομαγνήτης.
- Εάν περιστραφεί ο δρομέας (π.χ. μέσω ενός ατμοστροβίλου) → δημιουργείται ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.
- Επάγεται τάση στις περιελίξεις του στάτη (νόμος του Faraday) (induced voltage).
- Οι τρεις τάσεις στις περιελίξεις
 - Ημιτονοειδείς (δεδομένου ότι η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι σταθερή και οι περιελίξεις είναι τοποθετημένες με συγκεκριμένο τρόπο)
 - Έχουν διαφορά φάσης 120° (δεδομένου ότι οι περιελίξεις είναι γεωμετρικά τοποθετημένες με απόσταση 120° μεταξύ τους).





- **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.



$$v_a(t) = \sqrt{2}V \sin(\omega t)$$

$$V_a = V \angle 0$$

$$v_b(t) = \sqrt{2}V \sin(\omega t - 120)$$

$$V_b = V \angle -120$$

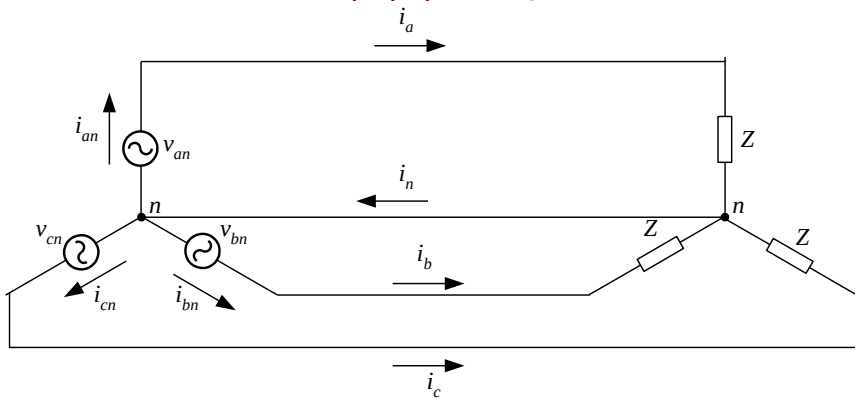
$$v_c(t) = \sqrt{2}V \sin(\omega t - 240)$$

$$V_c = V \angle -240$$



• Τριφασική Τάση

- Μπορούμε να ξεχωρίσουμε ένα τριφασικό κύκλωμα σε τρία ξεχωριστά μονοφασικά κυκλώματα.
 - Στην πραγματικότητα, αυτά τα τρία κυκλώματα είναι ενωμένα μεταξύ τους.
- Υπάρχουν δύο συνδεσμολογίες:
 - αστέρα (Y) (star ή wye)
 - δέλτα (Δ) (delta).

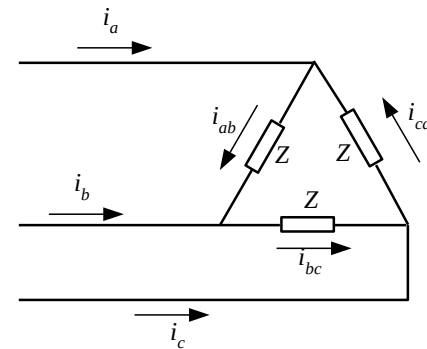


$$I_n = I_a + I_b + I_c$$

Αν τα φορτία είναι ακριβώς ίσα, το ρεύμα μέσω του ουδέτερου αγωγού είναι μηδέν.

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

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



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



- **Δίκτυο Μεταφοράς**

- Δίκτυο ψηλής τάσης.
- 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.

- **Δίκτυο Διανομής**

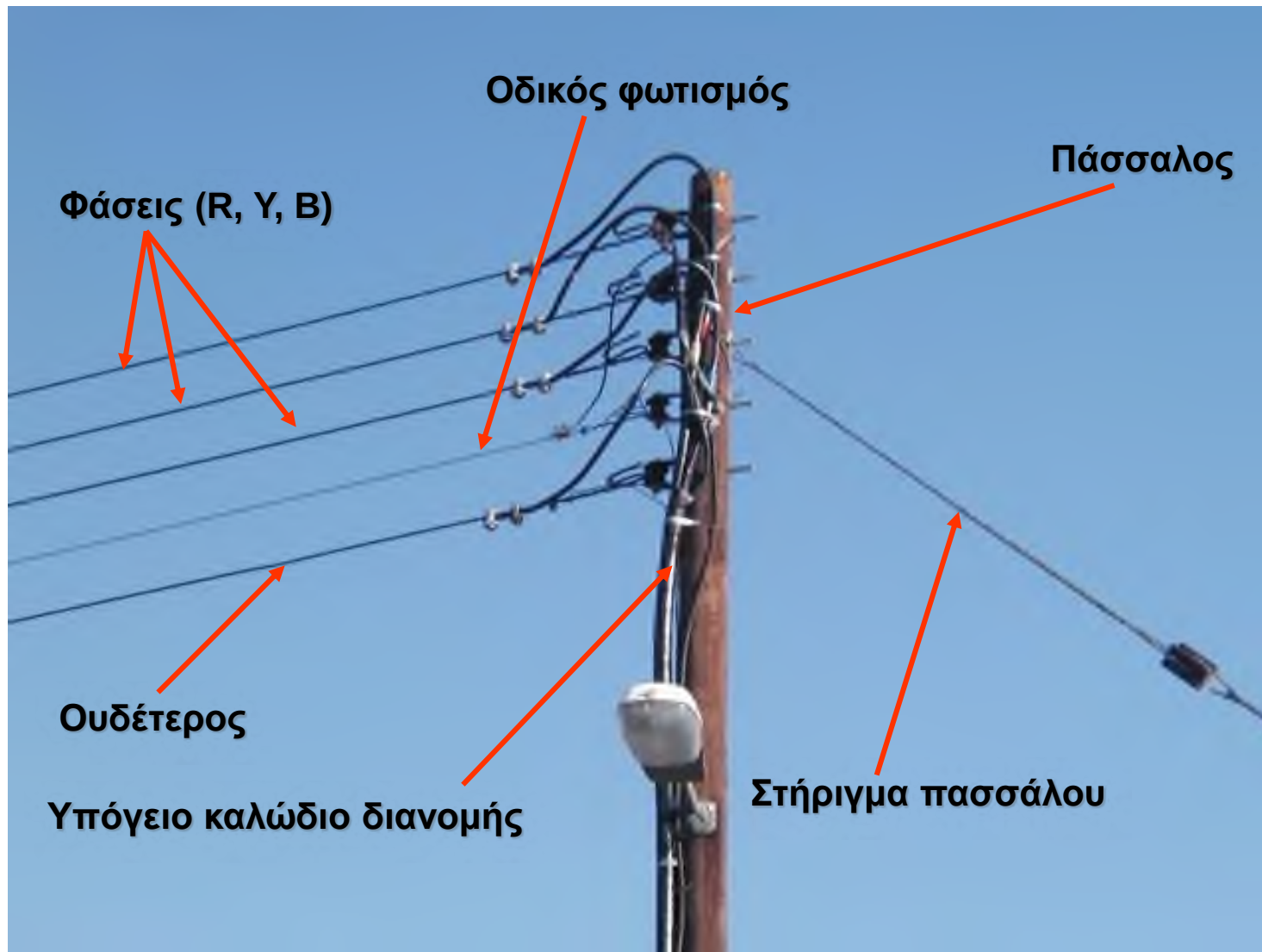
- Περιλαμβάνει
 1. το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (11 kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής
 2. το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (240/415 V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.
- Είναι το μεγαλύτερο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







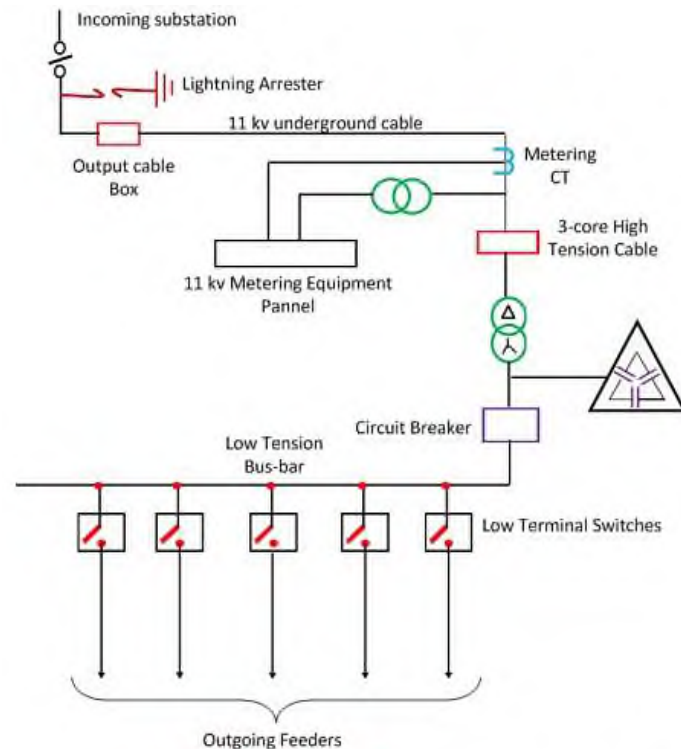
Μεταφορά και Διανομή Ενέργειας





• Υποσταθμοί

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



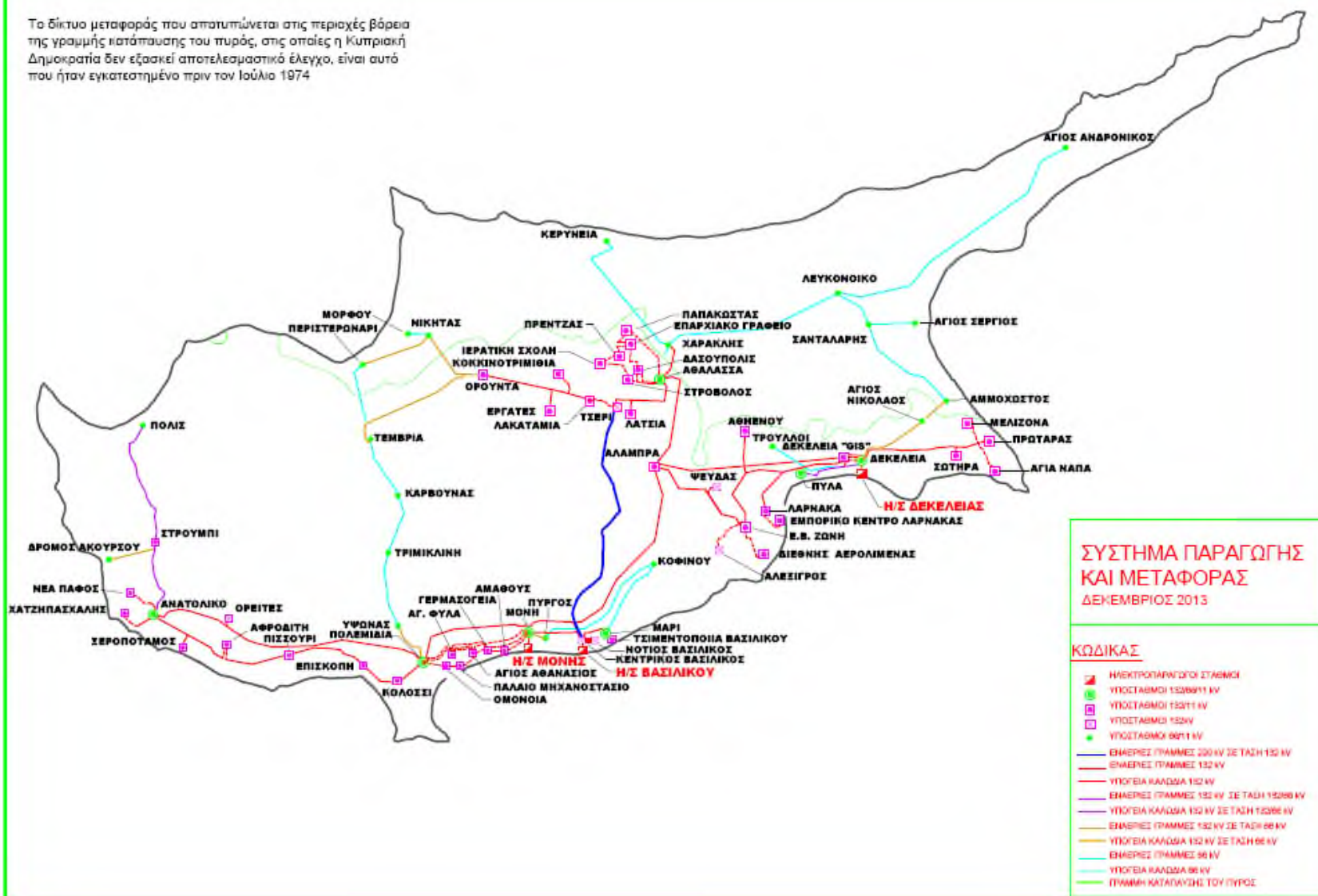
Key Diagram of Substation



Μεταφορά και Διανομή Ενέργειας



Το δίκτυο μεταφοράς που αποτυπώνεται στις περιοχές βόρεια της γραμμής κατάπαυσης του πυρός, στις οποίες η Κυπριακή Δημοκρατία δεν εξασκεί αποτελεσματικό έλεγχο, είναι αυτό που ήταν εγκατεστημένο πριν τον Ιούλιο 1974





- **Αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου**

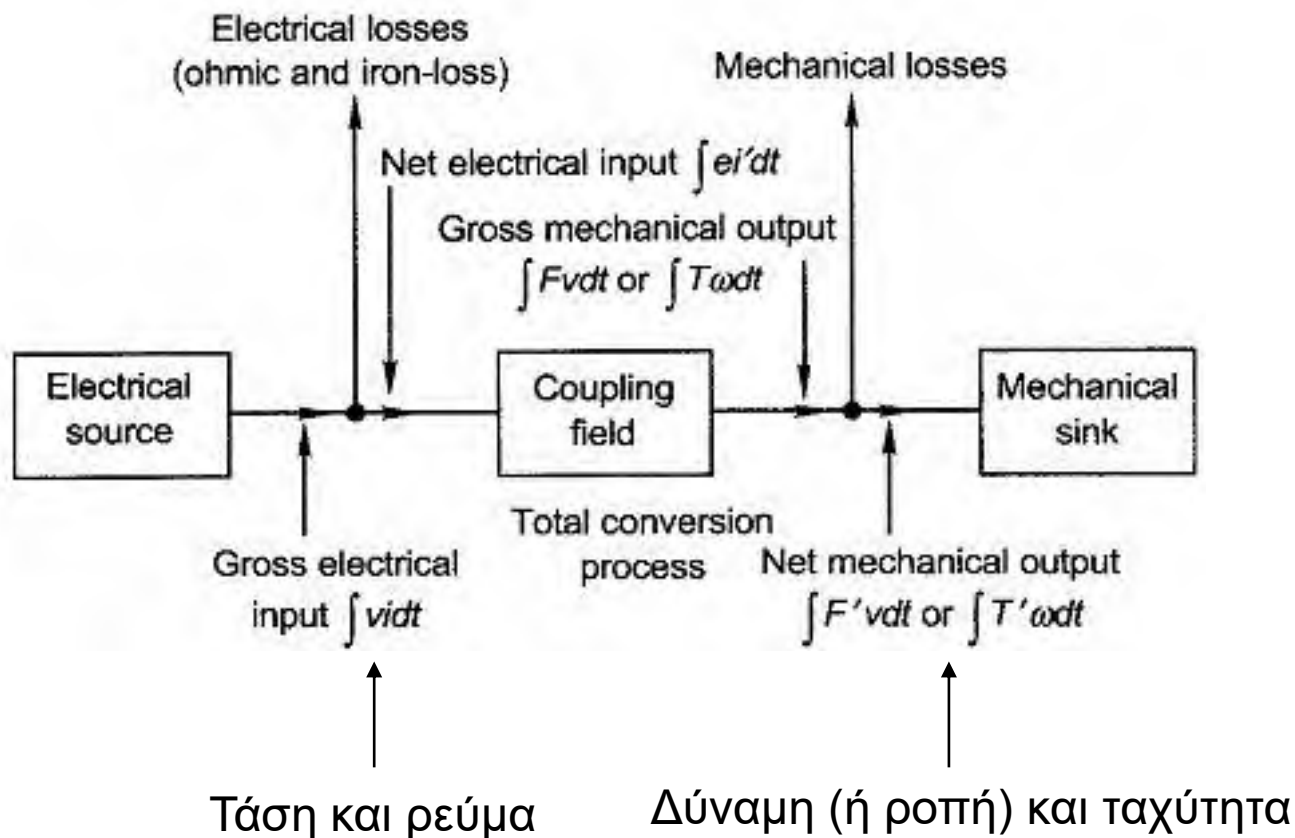
- Η επίτευξη αξιόπιστης λειτουργίας σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι εύκολη:
- Η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευθεί σε μεγάλες ποσότητες (λόγω υψηλού κόστους) => Ο ηλεκτρισμός πρέπει να παραχθεί τη στιγμή που θα ζητηθεί.
- Η ροή ισχύος δεν μπορεί να ελεγχθεί ανοίγοντας ή κλείνοντας 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.

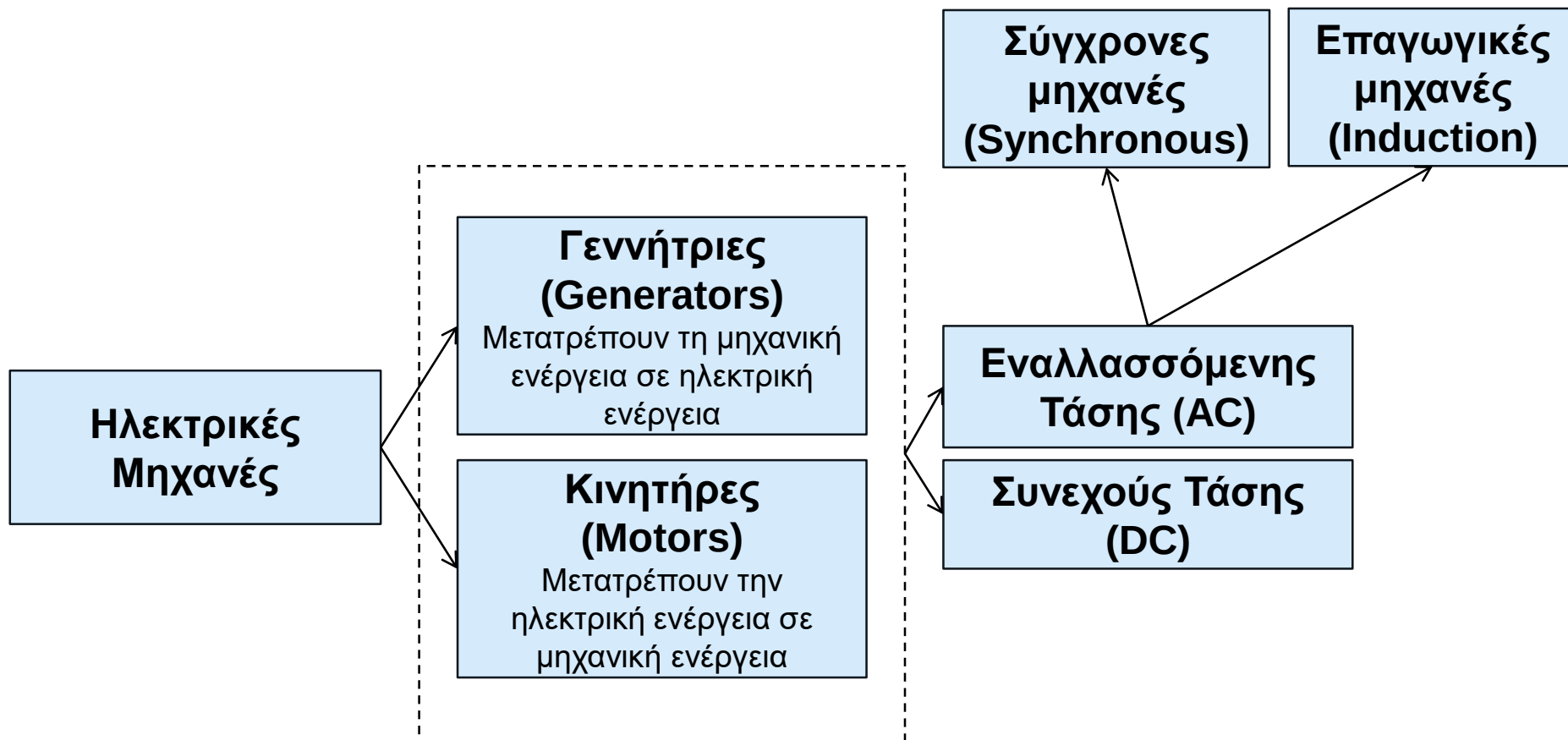


- **Απαραίτητα στοιχεία για αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου**
 - Συνεχές ισοζύγιο παραγωγής και ζήτησης ενεργού ισχύος
 - Συνεχές ισοζύγιο παραγωγής και ζήτησης άεργου ισχύος για διατήρηση μέτρων τάσεως
 - Παρακολούθηση ροών ισχύος μέσω γραμμών και μετασχηματιστών ούτως ώστε να μην υπερβούν τα θερμικά 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.



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





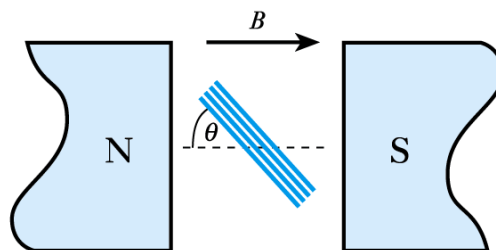
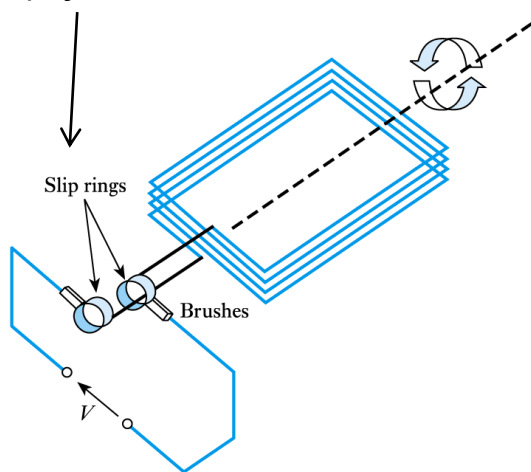
Και οι δύο τύποι λειτουργούν μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός μαγνητικού πεδίου και ενός συνόλου περιελίξεων



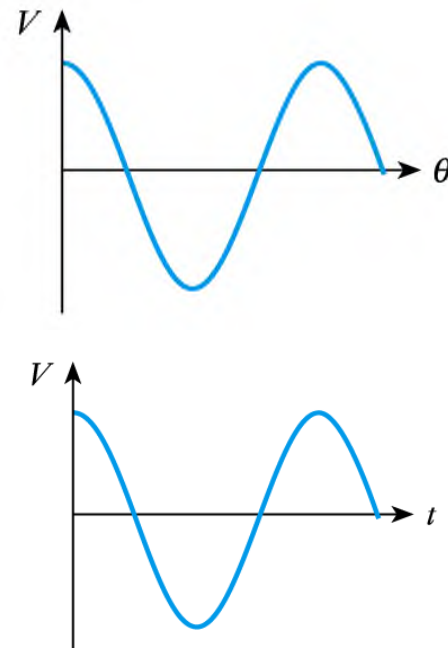
• Απλή γεννήτρια AC ή Εναλλάκτης (Alternator)

- Ένα πηνίο με N περιτυλίξεις και εμβαδό A περιστρέφεται σε σχέση με ένα μαγνητικό πεδίο B ,
- Σε μια συγκεκριμένη στιγμή είναι υπό γωνία θ προς το πεδίο

κυκλικοί δακτύλιοι ολίσθησης με
συρόμενες επαφές που ονομάζονται
ψήκτρες



(b) Relationship between coil and field

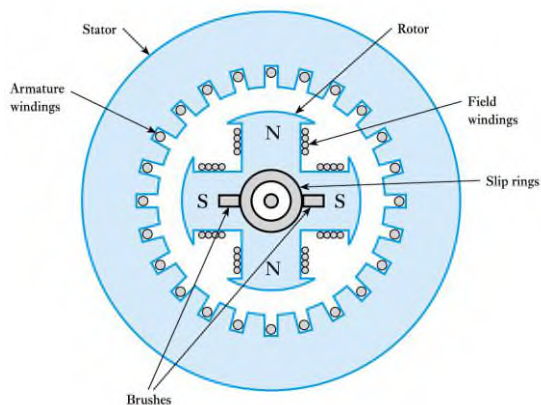


$$V = N \frac{d\Phi}{dt} = NBA \frac{d(\sin \theta)}{dt} = NBA \omega \cos \theta$$



- **Απλή γεννήτρια AC ή Εναλλάκτης (Alternator)**

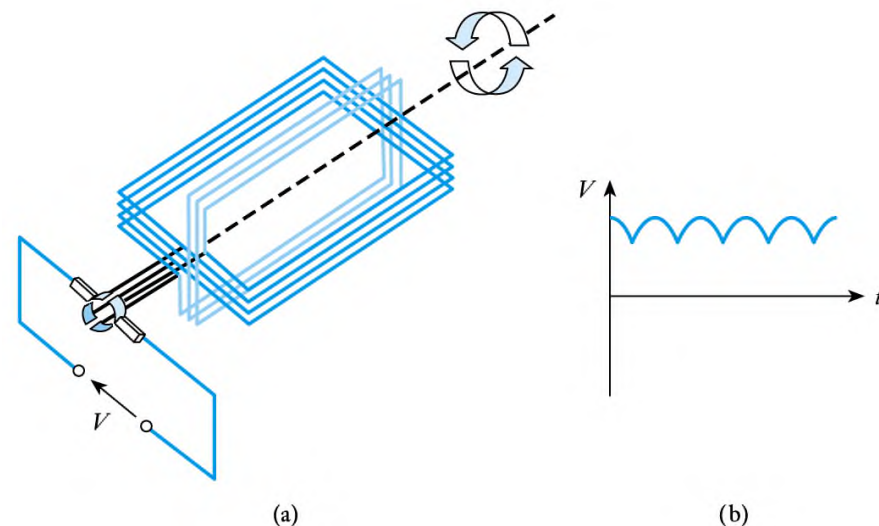
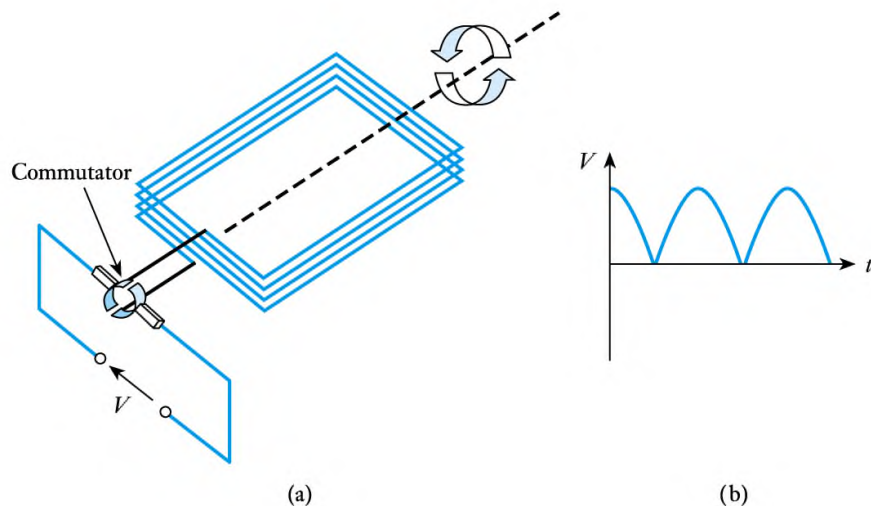
- Οι εναλλάκτες είναι απλούστεροι στην κατασκευή
- Τα πηνία πεδίου περιστρέφονται ενώ οι περιελίξεις οπλισμού είναι ακίνητες
 - Οι περιελίξεις οπλισμού είναι αυτές που παράγουν την έξοδο και βρίσκονται στο στάτη (stator)
 - Τα ελαφρύτερα πηνία πεδίου είναι τοποθετημένα στον δρομέα (rotor) και τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από ένα σετ δακτυλίων ολίσθησης
- Το πεδίο παράγεται σε συγχρονισμό με την περιστροφή του δρομέα (rotor) → σύγχρονη γεννήτρια
- Χρησιμοποιούνται πολλαπλοί πόλοι και σετ περιελίξεων για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας
 - Τρία σύνολα περιελίξεων οπλισμού απέχουν 120° γύρω από τον στάτη για να σχηματίσουν μια τριφασική γεννήτρια





- **Απλή γεννήτρια DC ή Δύναμος**

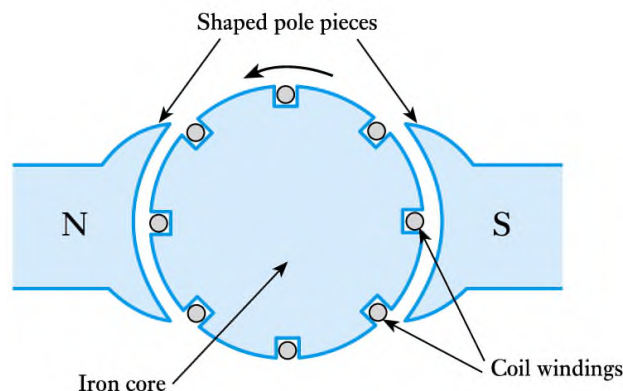
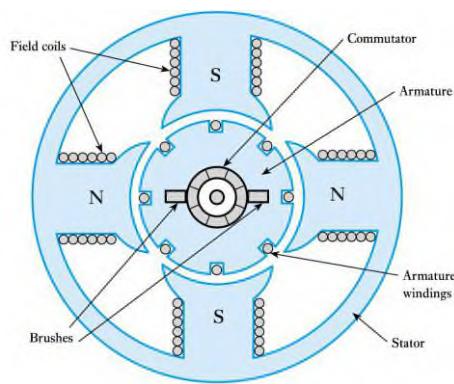
- Το εναλλασσόμενο σήμα από την προηγούμενη γεννήτρια AC θα μπορούσε να μετατραπεί σε DC χρησιμοποιώντας ανορθωτή
- Μια πιο αποτελεσματική προσέγγιση είναι να αντικαταστήσετε τους δύο δακτυλίους ολίσθησης με ένα μόνο δακτύλιο ολίσθησης που ονομάζεται συλλέκτης (commutator)
 - Αυτό διευθετείται έτσι ώστε οι συνδέσεις με το πηνίο να αντιστρέφονται καθώς η τάση από το πηνίο αλλάζει πολικότητα
 - Ως εκ τούτου, η τάση στα πινέλα έχει μία μόνο πολικότητα
- Η προσθήκη επιπλέον πηνίων παράγει μια πιο σταθερή έξοδο





• Απλή γεννήτρια DC ή Δύναμος

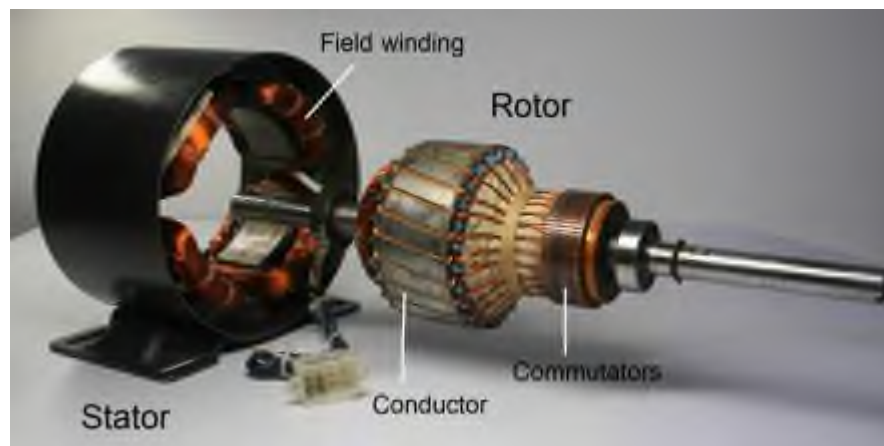
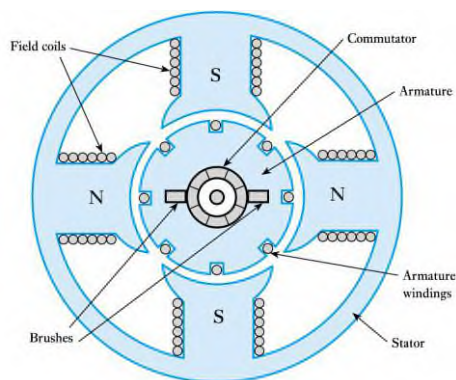
- Οι διακυμάνσεις μπορούν να μειωθούν περαιτέρω με τη χρήση ενός κυλινδρικού πυρήνα σιδήρου και με τη διαμόρφωση των πόλων.
 - Ένα σχεδόν ομοιόμορφο πεδίο στο στενό κενό αέρα
 - Η διάταξη των πηνίων και του πυρήνα είναι γνωστή ως σπλισμός (armature) και βρίσκεται στο δρομέα (rotor) και άρα πρέπει να περιστρέφεται!
- Διάφορες μορφές ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής του μαγνητικού πεδίου
 - Μόνιμος μαγνήτης
 - Πιο συχνά παράγεται ηλεκτρικά χρησιμοποιώντας πηνία πεδίου
 - Τροφοδοτούνται από την έξοδο της γεννήτριας (αυτοδιέγερση)
 - Πολλοί πόλοι σε χαλύβδινο πυρήνα → στάτης (stator)





• Κινητήρας DC

- Εάν ένας αγωγός βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο:
 - κίνηση του αγωγού παράγει ηλεκτρικό ρεύμα
 - ηλεκτρικό ρεύμα στον αγωγό παράγει κίνηση
- Ο αμφίδρομος χαρακτήρας αυτής της σχέσης σημαίνει ότι μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος μπορεί να λειτουργεί και ως κινητήρας συνεχούς ρεύματος
 - αν και οι μηχανές που έχουν σχεδιαστεί ως κινητήρες είναι πιο αποτελεσματικοί σε αυτό το ρόλο
- Διάφορες μορφές
 - Ανεξάρτητης διέγερσης (separately excited), Παράλληλης διέγερσης (shunt), Διέγερσης σειράς (series), Σύνθετης διέγερσης (compounded)
 - Dc κινητήρας με μόνιμο μαγνήτη (permanent-magnet dc motor)





• Κινητήρας AC

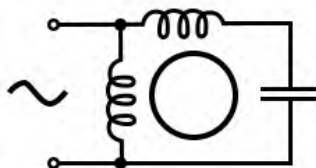
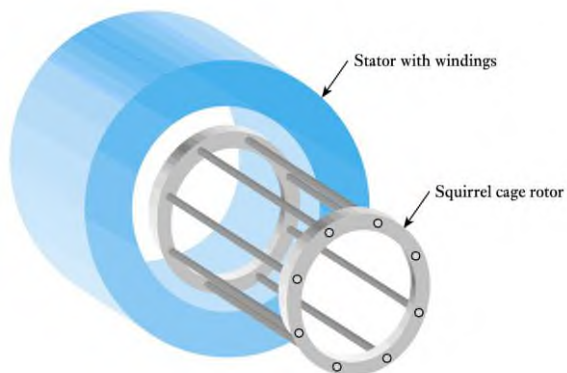
- Οι κινητήρες AC μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες μορφές:
 - σύγχρονοι κινητήρες
 - κινητήρες επαγωγής
- Ψηλής ισχύος κινητήρες και των δύο τύπων λειτουργούν πάντοτε με τριφασική τροφοδοσία
 - Μονοφασικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως - ιδιαίτερα σε οικιακό περιβάλλον
- Σύγχρονοι κινητήρες
 - Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος (ή εναλλάκτες) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σύγχρονοι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος
 - Οι τριφασικοί κινητήρες χρησιμοποιούν τρία σετ πηνίων στον στάτη
 - Το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο περιστρέφει τον δρομέα
 - Οι μονοφασικοί κινητήρες απαιτούν κάποιο μηχανισμό εκκίνησης
 - Η ροπή παράγεται μόνο όταν ο δρομέας είναι συγχρονισμένος με το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο
 - Μπορεί να διαμορφωθεί ως επαγωγικός κινητήρας μέχρι να φτάσει σε ψηλή ταχύτητα και στη συνέχεια να γίνει σύγχρονος κινητήρας





- **Κινητήρας AC**

- **Επαγωγικοί κινητήρες**
 - Είναι ίσως η πιο σημαντική μορφή κινητήρα AC
 - Ο δρομέας είναι απλώς παράλληλοι αγωγοί, βραχυκυκλωμένοι και στα δύο άκρα από δύο αγωγίσιμους δακτυλίους → Δρομέας κλωβού (squirrel cage rotor)
 - Αντί να χρησιμοποιεί δακτυλίους ολίσθησης, το ρεύμα επάγεται στον δρομέα όπως σε ένα μετασχηματιστή που μετατρέπει τον δρομέα σε ηλεκτρομαγνήτη
- **Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας**
 - Οι τρεις φάσεις παράγουν ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο (όπως σε έναν τριφασικό σύγχρονο κινητήρα)
 - Ο δρομέας περιστρέφεται μαζί με το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο
- **Μονοφασικός επαγωγικός κινητήρας**
 - Χρησιμοποιεί άλλες τεχνικές για την παραγωγή του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου
 - κινητήρες πυκνωτών (δημιουργούν μια δεύτερη φάση)
 - κινητήρες σκιασμένου πόλου
 - Τέτοιοι κινητήρες είναι φθηνοί και χρησιμοποιούνται ευρέως σε οικιακές εφαρμογές





• Γενικοί (Universal) Κινητήρες

- Ενώ οι περισσότεροι κινητήρες λειτουργούν είτε με AC είτε DC, ορισμένοι μπορούν να λειτουργήσουν και τα δύο
- Αυτοί είναι κινητήρες γενικής χρήσης και μοιάζουν με κινητήρες συνεχούς ρεύματος, αλλά έχουν σχεδιαστεί για λειτουργία τόσο AC όσο και DC
- Συνήθως λειτουργούν σε υψηλή ταχύτητα (> 10.000 σ.α.λ.)
- Προσφέρουν ψηλή ισχύ ως προς το βάρος/μέγεθος
- Ιδανικοί για φορητό εξοπλισμό όπως τρυπάνια χειρός και ηλεκτρικές σκούπες





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

- **Απώλειες χαλκού (copper losses, I^2R losses)**

- Λόγω της αντίστασης των περιελίξεων στο στάτη και στο δρομέα.

$$P_{cu} = nI_A^2 R_A + nI_F^2 R_F$$

copper armature field

Μονοφασική μηχανή $n=1$
Τριφασική μηχανή $n=3$

- **Απώλειες πυρήνα (core losses)**

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

- **Απώλειες στις ψήκτρες (brush losses)**

- Λόγω της διαφοράς δυναμικού που αναπτύσσεται στις ψήκτρες.

$$P_b = V_b I_A \quad V_b \approx 2V$$

brush

(θεωρείται σταθερή σε ένα μεγάλο εύρος εντάσεων)



- **Μηχανικές απώλειες**

- Λόγω τριβής των διαφόρων μερών μεταξύ τους (friction)
 - Τριβή στα ρουλεμάν (bearings)
 - Τριβή στις ψήκτρες (brushes)
- Λόγω τριβής των διαφόρων μερών με τον αέρα (windage).
- Εξαρτώνται από την ταχύτητα του κινητήρα.

- **Λοιπές απώλειες (stray losses, miscellaneous losses)**

- Είναι όλες οι μικρές απώλειες που δεν μπορούν να καταταχθούν σε κάποια άλλη κατηγορία (συνήθως 1% του πλήρους φορτίου).

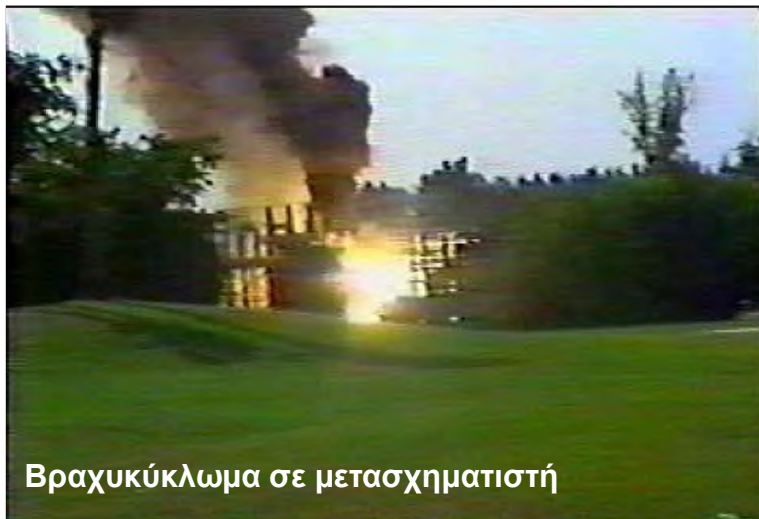


- **Η παραγωγή ισχύος κυριαρχείται από μηχανήματα AC**
 - Από εναλλάκτες αυτοκινήτων έως τις σύγχρονες γεννήτριες που χρησιμοποιούνται σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας
 - Η απόδοση αυξάνεται με μέγεθος (έως και 98%)
- **Χρησιμοποιούνται κινητήρες και DC και AC**
 - Οι κινητήρες υψηλής ισχύος είναι συνήθως AC, τριφασικοί
 - Οι οικιακές εφαρμογές συχνά χρησιμοποιούν μονοφασικούς επαγωγικούς κινητήρες
 - Οι κινητήρες DC είναι χρήσιμοι σε
 - 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).



- **Πολλές φορές, δημιουργούνται σφάλματα στο δίκτυο λόγω:**
 - Μη σωστής χρήσης του εξοπλισμού
 - Κακής ή μη ικανοποιητικής συντήρησης του εξοπλισμού
 - Λανθασμένης ερμηνείας των παρουσών συνθηκών και λανθασμένων αποφάσεων
 - Απειρίας/Μη ολοκληρωμένης εκπαίδευσης
 - Αδιαφορίας
 - Χρησιμοποίησης δεδομένων που να μην ανταποκρίνονται πλήρως στα δεδομένα του συστήματος
 - Ατυχημάτων (π.χ. αυτοκίνητο σε πάσσαλο)

Ασφάλεια και αξιοπιστία



Ασφάλεια και αξιοπιστία



Ινδία: Αποκόπηκε
η παροχή
ηλεκτρισμού στο
70% του Ινδικού
κρατιδίου του
Bihar (3/2/03)





- Τα σφάλματα αυτά μπορεί να οδηγήσουν σε δυσάρεστες καταστάσεις:
 - Συσκότιση (blackout)
 - Απόρριψη φορτίων (load shedding)
 - Θάνατο πολιτών (π.χ. λόγω εγκλωβισμού σε ανελκυστήρες)
 - Αναστάτωση των επηρεαζόμενων πολιτών
- Δεν μπορούν να προβλεφθεί αλλά μπορεί να μειωθεί η πιθανότητα συσκότισης με σωστό προγραμματισμό και επάρκεια του συστήματος παραγωγής, μεταφοράς και διανομής.



- **Συσκότιση στη Βόρειο Αμερική (14 Αυγούστου, 2003)**

- Η ακολουθία των γεγονότων που οδήγησαν στη συσκότιση άρχισε στις 12:05 μ.μ. με συνήθη σφάλματα στο δίκτυο
 - Ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας βγήκε εκτός σύνδεσης εν μέσω ψηλής ζήτησης
 - Γραμμές ψηλής τάσης βγήκαν εκτός λειτουργίας όταν ζεστάθηκαν και ήρθαν σε επαφή με δέντρα
 - Μεταφορά φορτίου σε άλλες γραμμές μετάδοσης, οι οποίες δεν ήταν σε θέση να αντέξουν το φορτίο, ενεργοποίησαν τους διακόπτες τους
 - Πολλές γεννήτριες βγήκαν εκτός φάσης και έσβησαν για να αποτρέψουν ζημιές.
 - Τελικά απενεργοποιήθηκαν από 100 μονάδες (513 γεννήτριες) παραγωγής ενέργειας.
- Μετά από μια σειρά ταλαντώσεων και διαδοχικών σφαλμάτων ολοκληρώθηκε η συσκότιση στις 4:13 μ.μ.
- Η παροχή αποκαταστάθηκε σε δύο μέρες στις πιο πολλές περιοχές ενώ σε μερικές άλλες σε μια εβδομάδα.
- Επηρεάστηκαν οκτώ πολιτείες στις ΗΠΑ και μια στον Καναδά (Ontario)
- Πενήντα εκατομμύρια άνθρωποι έμειναν χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα.



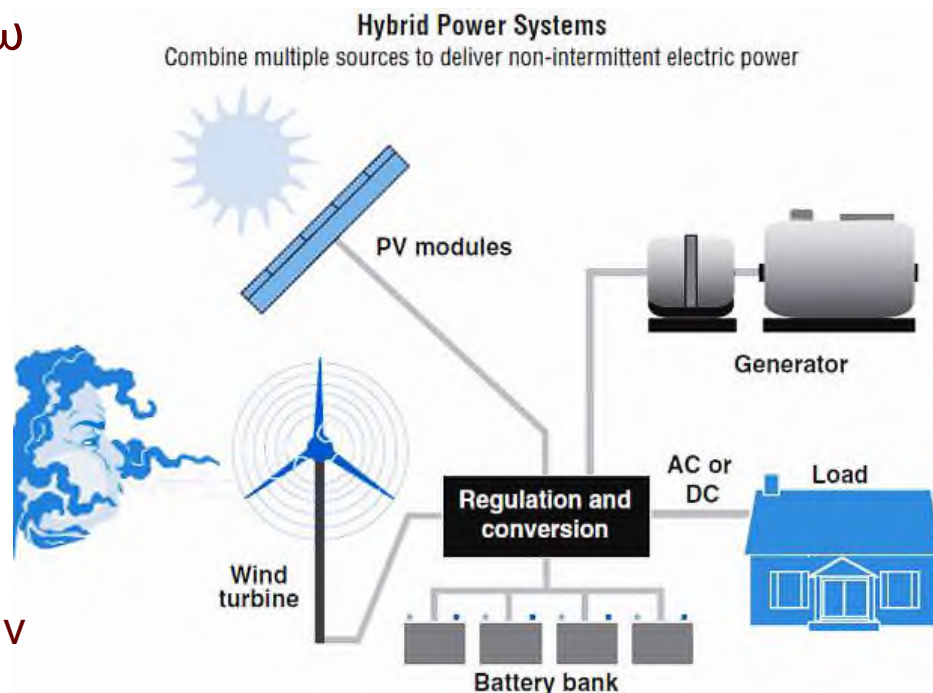


- **Η Μηχανική ηλεκτρικής ισχύος είναι ένας τομέας που αναδιοργανώνεται για να απευθυνθεί στα νέα προβλήματα και προκλήσεις της εποχής μας**
 - Ασφάλεια, αξιοπιστία
 - Αποδοτικότητα
 - Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
 - Ποιότητα ισχύος
- **Ασφάλεια και αξιοπιστία του δικτύου: Ανάγκη για εύρεση καλύτερων μηχανισμών προστασίας του δικτύου**
 - Πιο μεγάλο και πολύπλοκο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας
 - Διασυνδεδεμένα δίκτυα μεταξύ μεγάλων γεωγραφικών περιοχών
 - Δίκτυα συνδεδεμένα με υπολογιστές και το διαδίκτυο → κυβερνοεπιθέσεις
 - Σε περίπτωση σοβαρού σφάλματος, ο κίνδυνος συσκότισης είναι πολύ μεγάλος λόγω της λειτουργίας του συστήματος στα άκρα των δυνατοτήτων του



- **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

- Μπορούμε να παράγουμε ενέργεια από ΑΠΕ με κάποιο λογικό έστω κόστος;
- Πάντως μας πιέζει ο χρόνος!
- Αποθέματα:
 - Πετρέλαιο: ~40 χρόνια
 - Φυσικό αέριο: ~60 χρόνια
 - Κάρβουνο: ~220 χρόνια (που όμως προκαλεί τεράστια περιβαλλοντική ζημία)
- Ποιότητα ισχύος
 - Μπορούμε να διατηρήσουμε την παρεχόμενη τάση στην ονομαστική της τιμή και της συχνότητα χωρίς παραμορφώσεις της κυματομορφής της, παρόλα τα συνεχώς προστιθέμενα “παράξενα φορτία”;





- Ένα έξυπνο δίκτυο

- Περιλαμβάνει μια ποικιλία συστημάτων και συσκευών
- Συμπεριλαμβάνει έξυπνους μετρητές, έξυπνες συσκευές, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ενεργειακά αποδοτικές υποδομές

