



ΕΜΠ

Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)

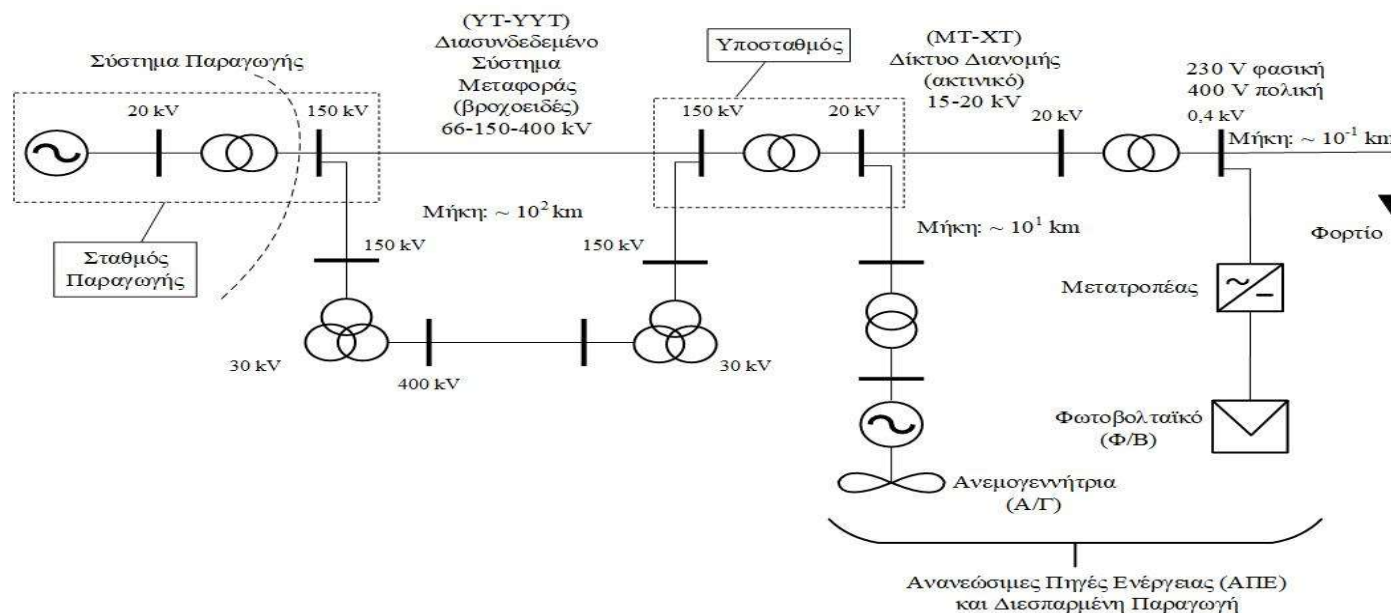
Εισαγωγικό Μάθημα

Σταύρος Αθ. Παπαθανασίου

Καθ. ΕΜΠ



Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)



Βασικά χαρακτηριστικά

- Σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ) 50 Hz ή 60 Hz.
- Συνεχές ρεύμα (ΣΡ) δεν χρησιμοποιείται, εκτός συγκεκριμένων τμημάτων (π.χ. σύνδεσμοι διασυνδέσεων νησιών και θαλάσσιων αιολικών πάρκων)
- **3Φ σύστημα** στο σύνολο του (πλην τελικών καταναλωτών ΧΤ)



Σύντομη ιστορική αναδρομή

- 1891: ο **Νίκολα Τέσλα** παρουσιάζει την εφεύρεση του, το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC)
- Ο **Τέσλα** έπρεπε να αποδείξει την ασφάλεια της εφεύρεσης του έναντι της πανίσχυρης **Edison Electric Light Company** με ιδρυτή τον **Τόμας Έντισον**, ο οποίος προωθούσε το συνεχές ρεύμα (DC)
- Η **Westinghouse Electric Company**, η οποία προώθησε το AC, κέρδιζε συνεχώς μερίδιο αγοράς από την **Edison Electric Light Company** και αυτό οδήγησε τον Έντισον να διαστρεβλώσει τα ζητήματα σχετικά με την ασφάλεια του AC
- Επικράτησε προπαγάνδα και αθέμιτος, σκληρός ανταγωνισμός **εναντίον του AC**. Έγιναν προσπάθειες απαγόρευσης του.
- Τελικά το **AC επικράτησε**, λόγω των μεγάλων πλεονεκτημάτων του (ευχέρεια παραγωγής, δυνατότητα μεταφοράς σε αποστάσεις και ποσότητες)
- Το DC παραμένει σε **ειδικές εφαρμογές (HVDC)** με αυξανόμενη σημασία



Γιατί ΕΡ

- Το ΕΡ μετασχηματίζεται εύκολα και με χαμηλές απώλειες μέσω των Μ/Σ ισχύος
 - Η ανύψωση της τάσης συνεπάγεται μείωση του ρεύματος για τη μεταφορά της ίδιας ποσότητας ισχύος

Μείωση απωλειών κατά τη μεταφορά ($\sim R \cdot I^2$)

Μείωση της πτώσης τάσης ($\sim Z \cdot I$)

Αύξηση ικανότητας και απόστασης μεταφοράς

Επιλογή ΥΤ ή ΥΥΤ για το δίκτυο μεταφοράς

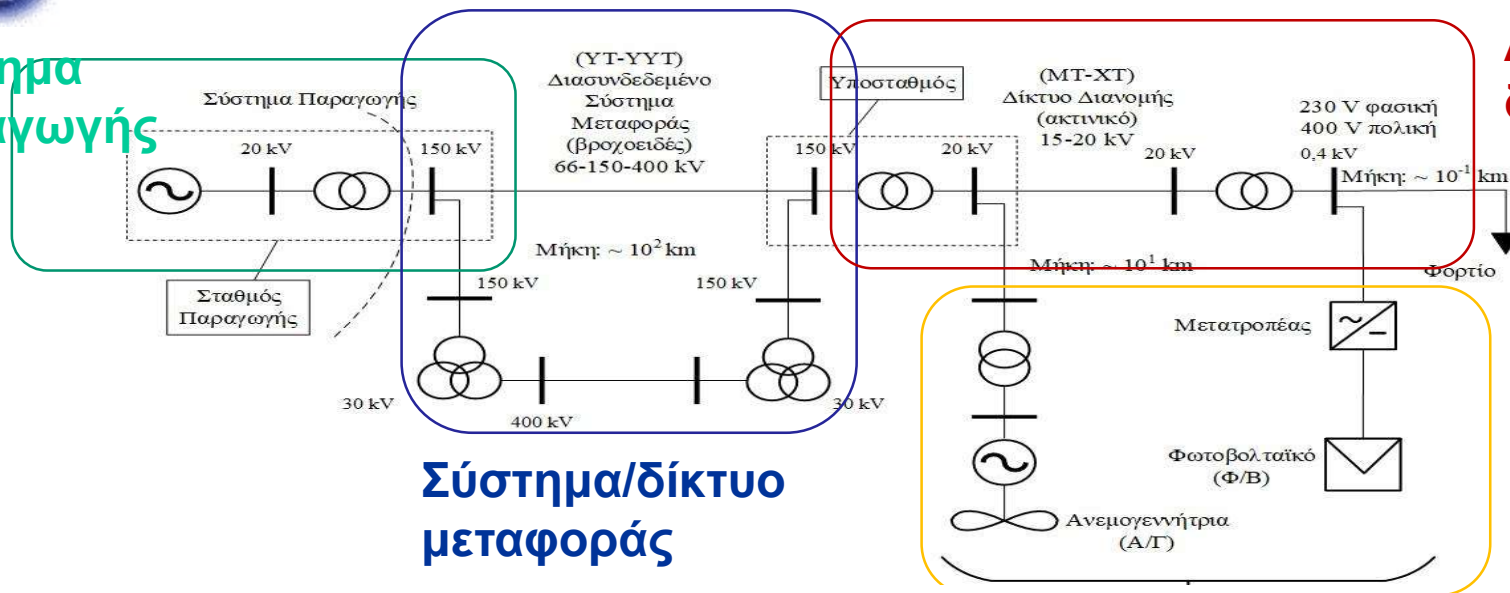


Γιατί 3Φ

- Πολλαπλασιασμός (x3) μεταφορικής ικανότητας με οικονομία στα υλικά (3 αγωγοί φάσεων χωρίς ουδέτερο, αντί 6 αγωγοί σε ισοδύναμο σύστημα 3 ανεξάρτητων 1Φ κυκλωμάτων)
- Ευχέρεια στην παραγωγή από **3Φ γεννήτριες**
- **3Φ κινητήρες** πλεονεκτούν έναντι 1Φ (ισχύς, ομαλότητα λειτουργίας, κατασκευή)



Σύστημα παραγωγής



Δίκτυο διανομής

Ενότητες του ΣΗΕ

- Σύστημα παραγωγής
 - Μεγάλοι σταθμοί παραγωγής (θερμοηλεκτρικοί, υδροηλεκτρικοί, ΑΠΕ κλπ.)
- Σύστημα ή δίκτυο μεταφοράς
 - Δίκτυο υψηλής τάσης (ΥΤ) και υπερυψηλής τάσης (ΥΥΤ) για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης
- Δίκτυο διανομής
 - Δίκτυο μέσης τάσης (ΜΤ) και χαμηλής τάσης (ΧΤ) για τη διανομή της μεταφερόμενης ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές
- Διεσπαρμένοι ενεργειακοί πόροι
 - Μικροί σταθμοί παραγωγής (συνήθως ΑΠΕ), αποθήκευσης και ευέλικτης ζήτησης (π.χ. ηλεκτρικά οχήματα) που συνδέονται στο δίκτυο διανομής, κοντά στους τελικούς καταναλωτές ή ως μέρος αυτών



Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Συμβατικοί σταθμοί

- Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί (ΘΗΣ): Ορυκτά καύσιμα (άνθρακας/λιγνίτης, φυσικό αέριο, πετρέλαιο):
- Μεγάλοι υδροηλεκτρικοί (ΥΗΣ): Ροή/πτώση υδάτων
- Πυρηνικοί Σταθμοί: Σχάσιμα υλικά (ουράνιο, πλουτώνιο)

Σταθμοί Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

- Αιολική
- Ηλιακή
- Υδροηλεκτρική (μικροί ΥΗΣ)
- Γεωθερμία
- Βιομάζα
- Κυματική ενέργεια



Συμβατικοί σταθμοί

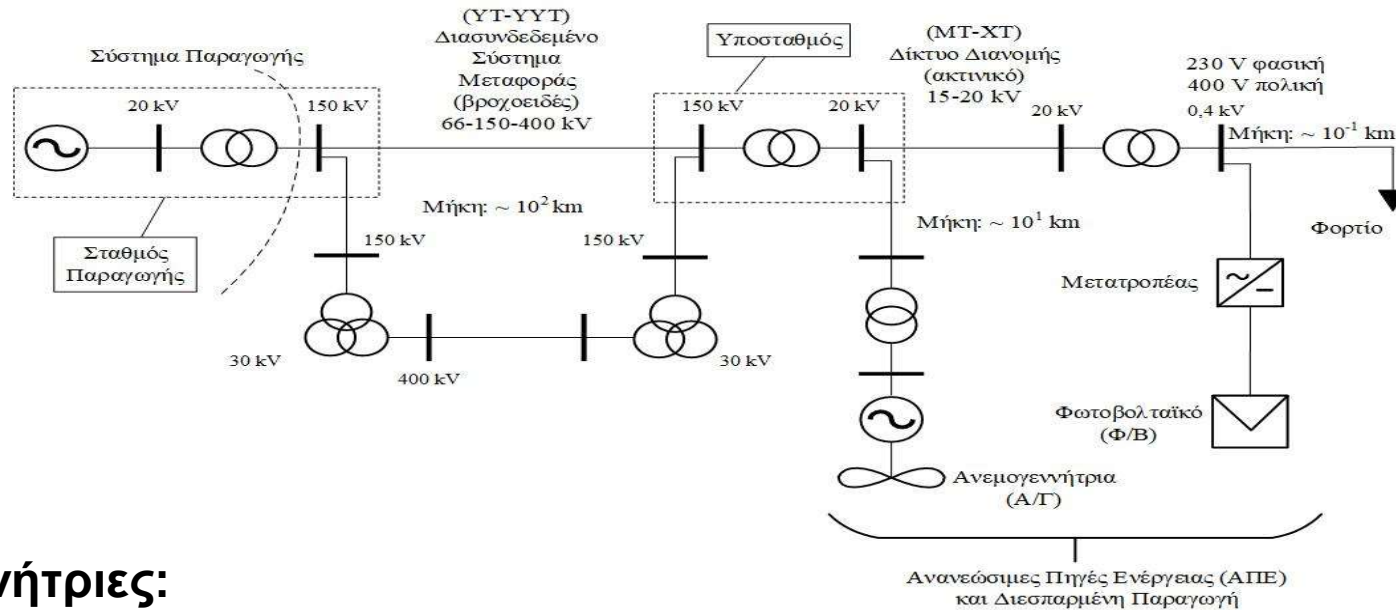
Θερμοηλεκτρικοί

- Ατμοηλεκτρικοί: Ατμοστρόβιλοι
- Ντηζελοηλεκτρικοί: Εμβολοφόρες ΜΕΚ (Μηχανές Εσωτερικής Καύσης)
- Φυσικό αέριο: Αεριοστρόβιλοι

Συνδυασμένου κύκλου
(Combined cycle)

Υδροηλεκτρικοί

- Φυσικής ροής
- Ρυθμιζόμενης ροής (ταμιευτικοί)
- Αντλητικοί (αποθήκευση ενέργειας)



- **Γεννήτριες:**

- Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί (ΘΗΣ): ~ 20 kV / ~ 300 MVA / ~ 3000 ΣΑΛ
- Υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) ~ 6 kV / ~ 100 MVA / ~ 300 ΣΑΛ

- **Μετασχηματιστές (Μ/Σ) Ισχύος:**

- Αυτομετασχηματιστές (ΑΜΣ) 400/150/30 kV των ~ 250 MVA
- Μετασχηματιστές (Μ/Σ) 150/20 kV των ~ 20 -100 MVA
- Μ/Σ ανύψωσης μονάδων παραγωγής 20/150 ή 20/400 kV, ικανότητας ίσης με της μονάδας

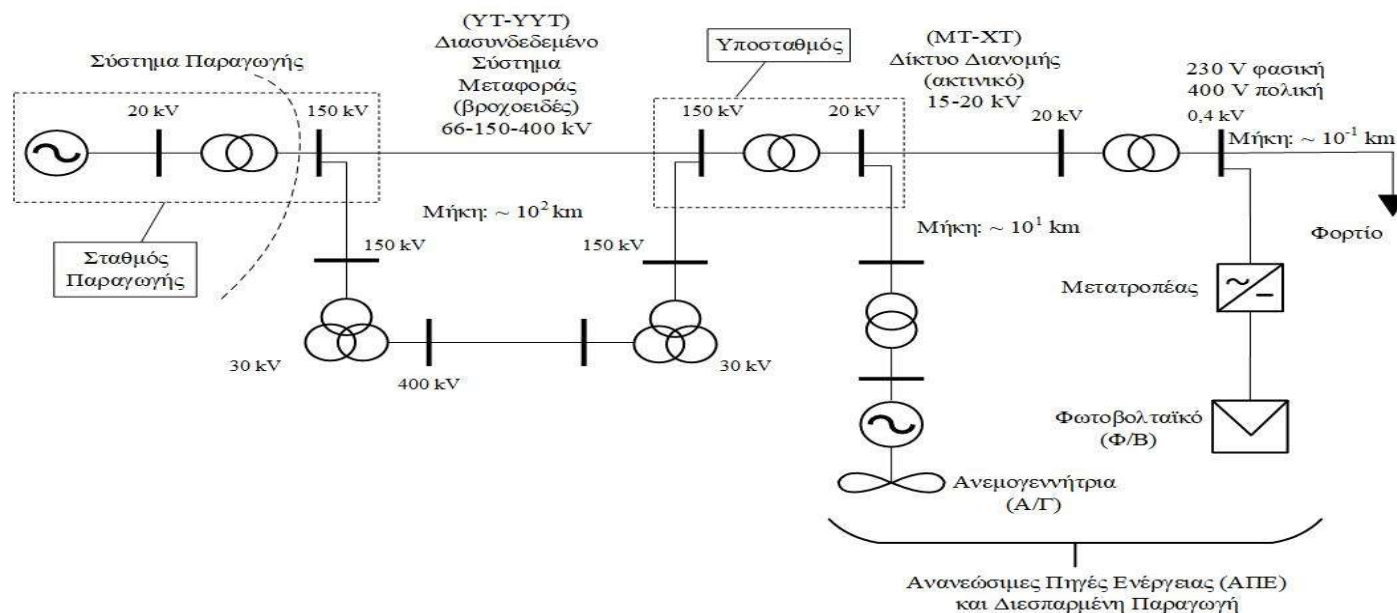
- **Μετασχηματιστές (Μ/Σ) Διανομής:**

- 20/0.4 ή 15/0.4 kV, 50-1000 kVA



Δίκτυο μεταφοράς και διανομής:

- **Επίπεδα τάσης (πάντοτε πολικές):**
 - ΧΤ: 0,1-1 kV → 230/400 V
 - ΜΤ: 1-35 kV → 20 kV
 - ΥΤ: 66,110,132,138,150, 220 kV → 150 kV
 - ΥΥΤ: 275, 345, 400, 500 kV → 400 kV
 - ΕΥΤ: 750... kV
- **Μεταφορική ικανότητα:** από δεκάδες kVA μέχρι >1000 MVA
- **Γραμμές:** 3Φ χωρίς ουδέτερο αγωγό (πλην ΧΤ)
- **Γυμνοί αγωγοί:** Μόνο σε εναέριες γραμμές. ACSR 16-500 mm² (0.4 έως 400 kV) από Αλουμίνιο (Al), πιο σπάνια από Χαλκό (Cu). Αποστάσεις αγωγών από 0,2 m έως 5 m.
- **Καλώδια:** Υπόγεια, υποβρύχια ή εναέρια. Τάσεις 0,4 – 400 kV. Διατομές έως 1200 mm². Αγωγοί Al ή Cu. Μόνωση XLPE ή χάρτου-ελαίου.
- **Μήκη:** ΧΤ<1 km, ΜΤ<50 km, ΥΤ, ΥΥΤ > 100 km



• Φορτία:

- Σύνδεση στη ΧΤ (1Φ ή 3Φ), στη ΜΤ ή στην ΥΤ
- Στατικά, π.χ. θέρμανση, φωτισμός
- Κινητήρες (κυρίως επαγωγής), π.χ. κλιματιστικά, αντλίες
- Μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος, π.χ. ηλεκτρονικές συσκευές
- Σε επίπεδο ΜΤ και ΥΤ: 3Φ συμμετρία



Διανεμημένοι ενεργειακοί πόροι

- **Μεγέθη:** < 1 kW έως ~10 MW
- **Διανεμημένη Παραγωγή:**
 - ΑΠΕ (αιολικά, φωτοβολταϊκά, μικρά υδροηλεκτρικά, βιομάζα κλπ.)
 - ΣΗΘ (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας)
 - Γεννήτριες: σύγχρονες και ασύγχρονες, μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος
- **Αποθήκευση:**
 - **Αντλησιοταμίευση** (υδραυλική αποθήκευση –συνδυασμός αντλητικών σταθμών και υδροηλεκτρικών)
 - **Συσσωρευτές** (χημική αποθήκευση)
 - Άλλες τεχνολογίες: Θερμική αποθήκευση, μηχανική (σφόνδυλοι), συμπιεσμένου αέρα, υπερπυκνωτές κ.ά.
 - Χρήση **ηλεκτρονικών ισχύος**
- **Ευέλικτη ζήτηση:**
 - Ηλεκτρικά οχήματα, ελεγχόμενα φορτία



Οργάνωση τομέα ηλεκτρικής ενέργειας

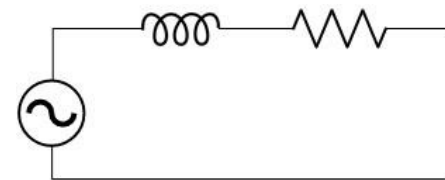
- ❑ Παλαιότερα: **Καθετοποιημένες ηλεκτρικές εταιρείες**
- ❑ Σήμερα: **Αγορές ηλεκτρικής ενέργειας**, ανοικτές στον ανταγωνισμό
 - Παραγωγή-Προμήθεια (εμπορία): Ανοικτές στον ανταγωνισμό
 - Δίκτυα Μεταφοράς-Διανομής: Υποδομές – «φυσικά μονοπώλια»
- ❑ **Φορείς και συμμετέχοντες** στις αγορές:
 - Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)
 - Λειτουργός της αγοράς (Χρηματιστήριο Ενέργειας – ΕΧΕ)
 - Διαχειριστές συστήματος μεταφοράς (ΑΔΜΗΕ), δικτύου διανομής (ΔΕΔΔΗΕ)
 - Παραγωγοί (συμβατικοί και ΑΠΕ)
 - Χονδρέμποροι και προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας
 - Πελάτες (καταναλωτές)



Αναπαράσταση ΣΗΕ

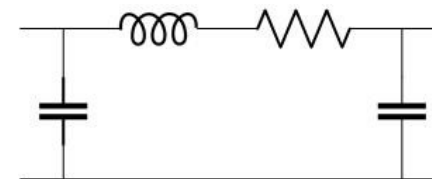
Κάθε στοιχείο: μέσω του **ανά φάση ισοδυνάμου κυκλώματός** του

Γεννήτριες/Κινητήρες



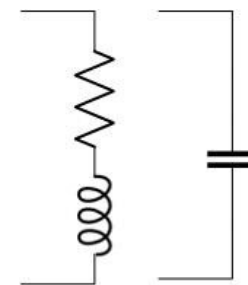
Στοιχεία Σειράς

(Γραμμές, μετασχηματιστές)



Εγκάρσια στατικά στοιχεία

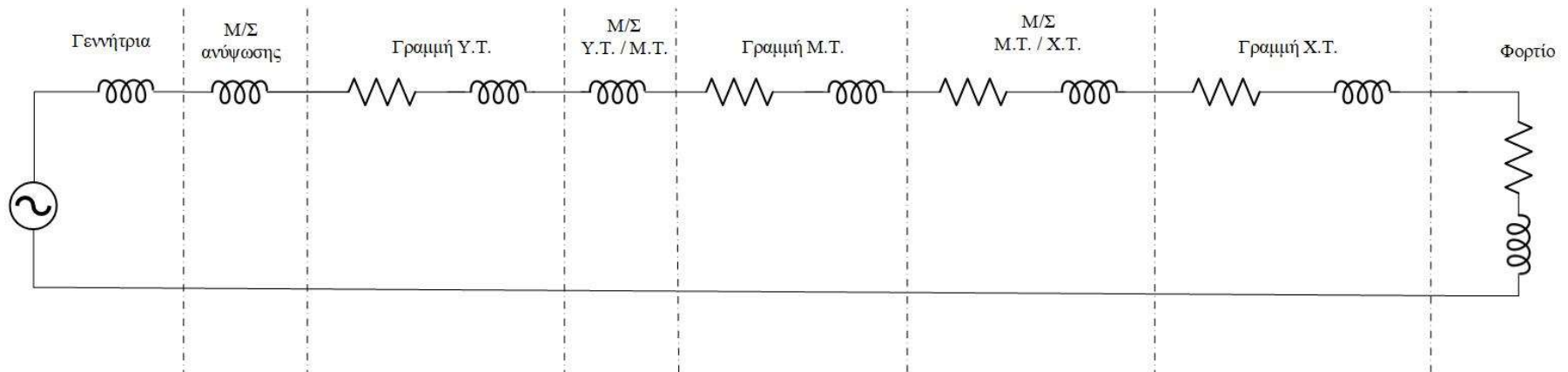
(π.χ. φορτία, πυκνωτές
αντιστάθμισης)





Αναπαράσταση ΣΗΕ

- ΣΗΕ: σύνδεση των ισοδύναμων κυκλωμάτων των στοιχείων και σχηματισμός ενιαίου ηλεκτρικού ισοδυνάμου
- Επιτρέπει υπολογισμό επιπέδου τάσεων, ρών ισχύος, απωλειών κλπ. (ανάλυση ροής φορτίου)





Λειτουργικά χαρακτηριστικά & αναλύσεις

- **Οικονομική λειτουργία**
 - Βέλτιστη λειτουργία παραγωγής
- **Ροή φορτίου** (μόνιμη κατάσταση λειτουργίας-στατική ανάλυση):
 - Φόρτιση στοιχείων δικτύου και μονάδων παραγωγής
 - Επίπεδα τάσεων
 - Απώλειες
 - Ανάγκες αντιστάθμισης
- **Έλεγχος** (δυναμική ανάλυση):
 - Ρύθμιση P-f (ρυθμιστές στροφών γεννητριών)
 - Ρύθμιση Q-V (ρυθμιστές τάσεως γεννητριών, ΣΑΤΥΦ¹ Μ/Σ, πυκνωτές, πηνία)
- **Μεταβατικά φαινόμενα και άλλες αναλύσεις:**
 - Ευστάθεια, βραχυκυκλώματα, προστασία, γειώσεις, υπερτάσεις/μονώσεις
 - Ποιότητα ισχύος
 - Αξιοπιστία

1: ΣΑΤΥΦ: Σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο