



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ενότητα 9: Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Γαβριήλ Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Βοβός

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιον Πατρών, **Γαβριήλ Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Βοβός, 2015**. «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ανάλυση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας». Έκδοση: **1.0**. Πάτρα **2015**.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή

διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE695/>



# 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.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

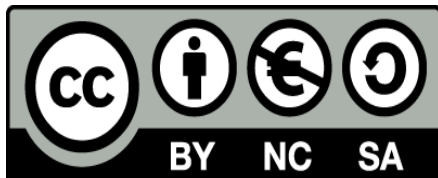
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Άδειες Χρήσης

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



# Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

## 9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) για να λειτουργήσει αξιόπιστα και οικονομικά, να γίνει μελλοντική βελτίωσή του, επέκταση ή τροποποίηση και να σχεδιαστούν τα συστήματα προστασίας του και ελέγχου, πρέπει να γίνουν μελέτες: ροής φορτίου, οικονομικής λειτουργίας, σφαλμάτων, αστάθειας τάσης και μεταβατικής ευστάθειας.

Το σύνολο των μελετών που προαναφέρθηκαν, μέσω των οποίων εκτιμάται η συμπεριφορά ενός ΣΗΕ, χαρακτηρίζονται με τον όρο *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας*.

Στόχος αυτού του Κεφαλαίου είναι να διευκρινίσει σύντομα τα προβλήματα που επιλύονται με την Ανάλυση ΣΗΕ και τον τρόπο που χρησιμοποιούμε αυτές τις λύσεις στη *σχεδίαση και τη λειτουργία ενός ΣΗΕ*.



## 9.2 ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΗΕ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Η δυσκολία ανάλυσης των ΣΗΕ πολλαπλασιάστηκε όταν αναπτύχθηκαν τα *διασυνδεδεμένα ΣΗΕ* και οι *διασυνδέσεις* μεταξύ διαφορετικών εθνικών *διασυνδεδεμένων ΣΗΕ*, δηλαδή οι *διεθνείς διασυνδέσεις*.

Στα *διασυνδεδεμένα ΣΗΕ* περιορίζεται η θερμή και στρεφόμενη εφεδρεία και επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση των αποδοτικότερων μονάδων τους με στόχο την *οικονομικότερη και πιο αξιόπιστη λειτουργία τους*.

Για να *διασυνδεθούν* δύο ΣΗΕ πρέπει να έχουν την ίδια ονομαστική συχνότητα λειτουργίας και να υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ όλων των μονάδων παραγωγής των δύο ΣΗΕ. Συνεπώς, μόνο εξελεγμένα ΣΗΕ, που πληρούν αυστηρές τεχνικές προδιαγραφές επιτρέπεται να *διασυνδεθούν*.



- Επειδή η βελτίωση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου απαιτούσε το γρήγορο εξηλεκτρισμό όλων των ανεπτυγμένων κρατών, αυτή η τάση δημιούργησε τεράστια σε μέγεθος ΣΗΕ. Αυτά για να λειτουργήσουν αξιόπιστα, εκτός του τοπικού ελέγχου αξιοποιούν την ανάλυση ΣΗΕ σε πραγματικό χρόνο ώστε να επιτύχουν βέλτιστο κεντρικό έλεγχο. Ο στόχος αυτός επετεύχθη με αξιοποίηση όλων των σύγχρονων τεχνολογιών στον έλεγχο, στις επικοινωνίες, στα ηλεκτρονικά και τους υπολογιστές.
- Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση ΣΗΕ πρέπει προηγουμένως να δημιουργηθούν τα κατάλληλα κάθε φορά μαθηματικά μοντέλα του συστήματος, που αποτελούν εκτεταμένο αντικείμενο της ανάλυσης ΣΗΕ. Με την αξιοποίηση αυτών των μοντέλων του ΣΗΕ προσδιορίζεται η συμπεριφορά του σε ποικίλες λειτουργικές καταστάσεις (εξομοίωση του ΣΗΕ) και είναι δυνατόν να εξευρεθούν οι λύσεις για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του.





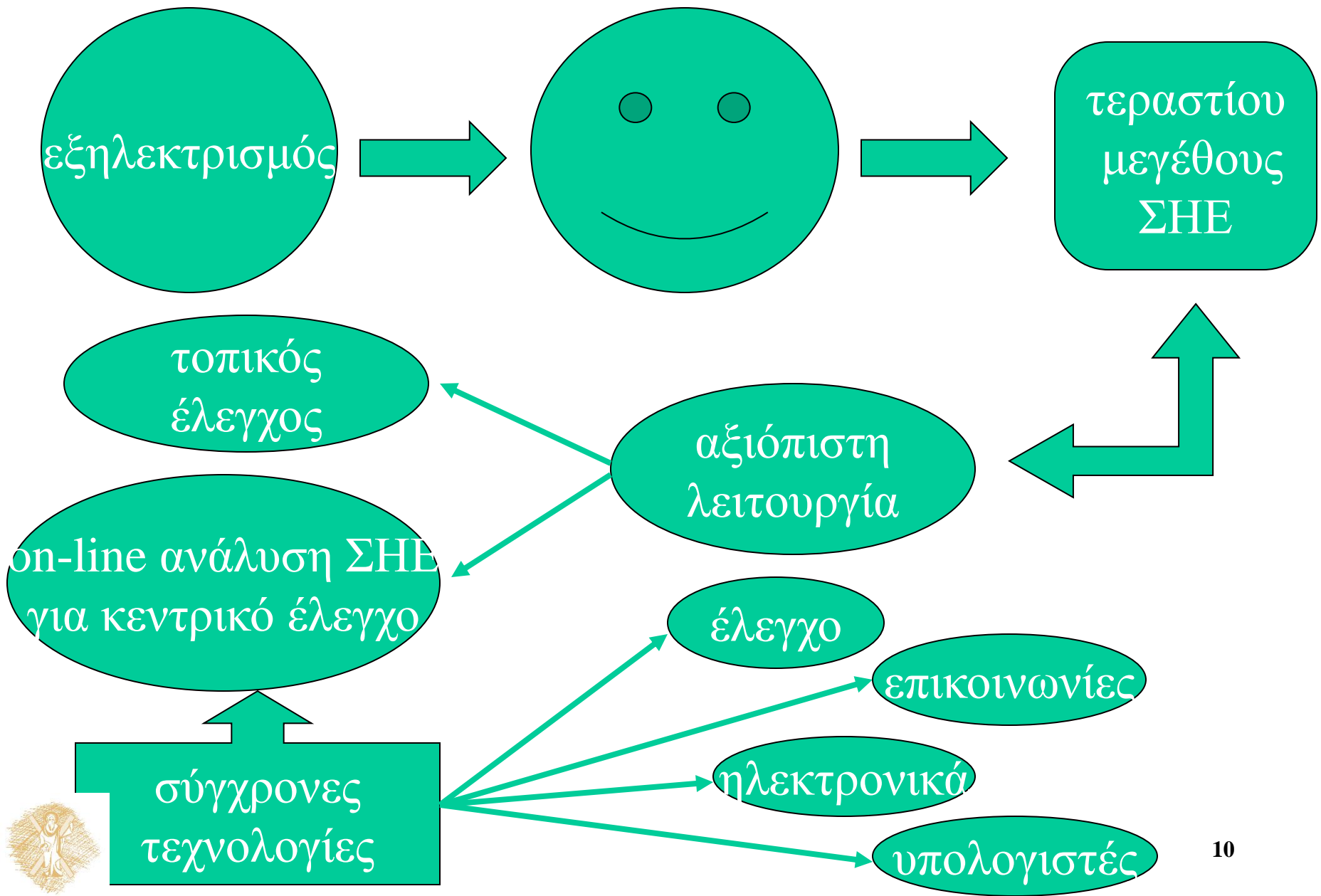
Πότε μπορούν  
να διασυνδεθούν  
τα ΣΗΕ

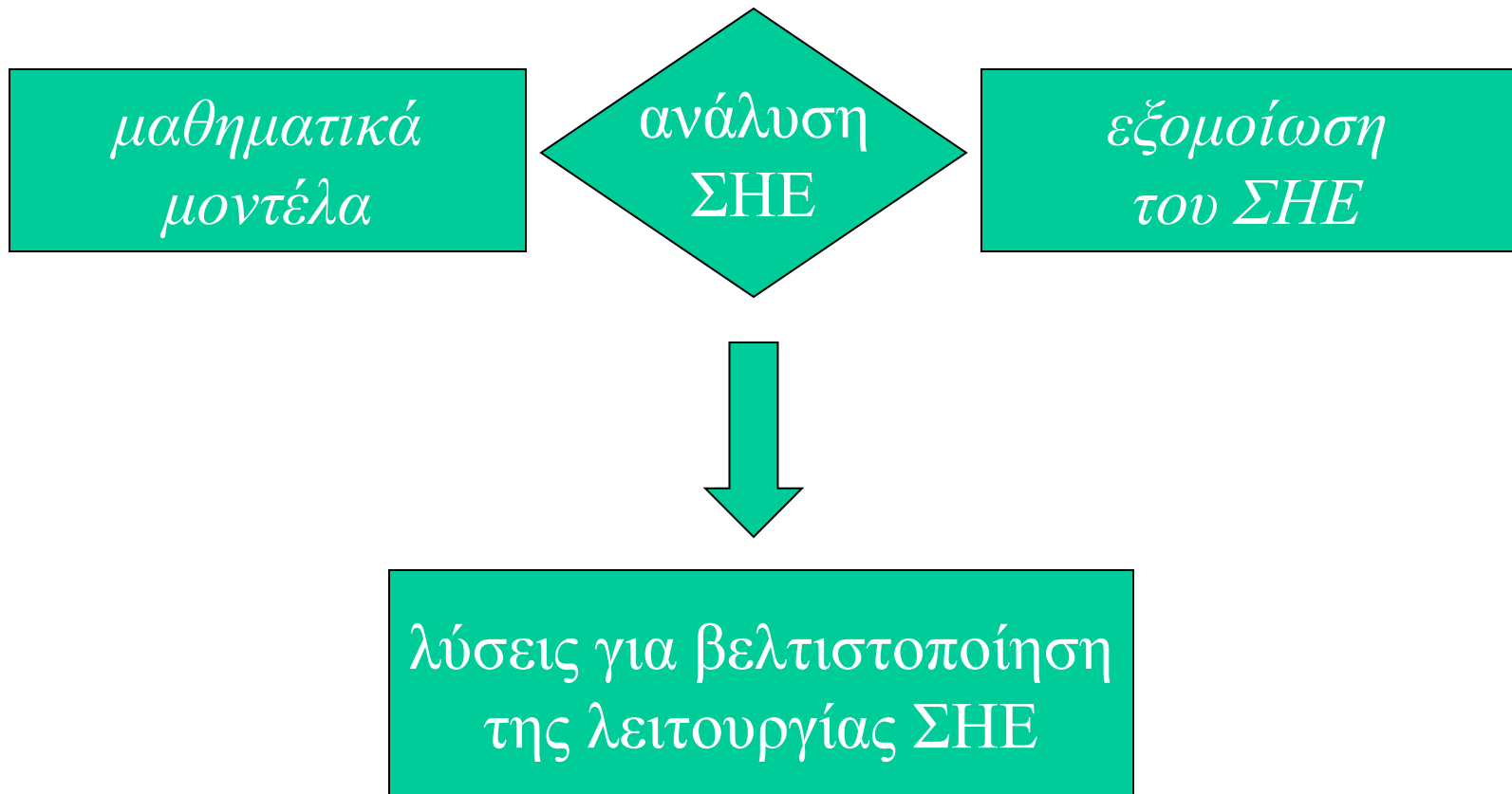
Ίδια ονομαστική  
συχνότητα

Συγχρονισμός  
μεταξύ των  $G$

Εξελιγμένα ΣΗΕ με  
αυστηρές προδιαγραφές







- Η ανάλυση ΣΗΕ με ψηφιακό υπολογιστή παρέχει μεγάλη ευελιξία, ακρίβεια, ταχύτητα και οικονομία. Σήμερα χρησιμοποιούνται όλων των τύπων υπολογιστές στη μελέτη προβλημάτων ΣΗΕ σε *πραγματικό και μη πραγματικό χρόνο*.
- Οι εφαρμογές σε μη πραγματικό χρόνο περιλαμβάνουν τη διερεύνηση και εκτίμηση της απόκρισης ΣΗΕ σε μόνιμη και μεταβατική κατάσταση λειτουργίας και την επεξεργασία δεδομένων.
- Οι εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο περιλαμβάνουν τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων για την εκτίμηση της κατάστασης του συστήματος, τον έλεγχο της συχνότητας και της ισχύος στις διασυνδετικές γραμμές και την επίτευξη οικονομικής λειτουργίας των ΣΗΕ. Αυτές οι λειτουργίες επιτυγχάνονται μέσω των *Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας (ΚΕΕ)*, ενώ οι τοπικοί επεξεργαστές αναλαμβάνουν τον έλεγχο ρύθμισης της παραγωγής ή τον έλεγχο της διαδικασίας εκκίνησης γεννητριών ή/και ψυχρής εκκίνησης των ατμοηλεκτρικών σταθμών.





Εσωτερικό του ΚΕΕ της ΔΕΗ



## 9.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΗΣ

- Η *ανάλυση ροής φορτίου* στα ΣΗΕ, αν ορισθεί ως *μαθηματικό πρόβλημα*, συνίσταται στην εύρεση της λύσης που προσδιορίζει τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας του ΣΗΕ. Αυτό σημαίνει υπολογισμό των μεταβλητών μόνιμης κατάστασης του ΣΗΕ.
- Αν ένα ΣΗΕ έχει  $n$  κόμβους (ζυγούς) τότε αυτό χαρακτηρίζεται συνολικά από  $4n$  μεταβλητές (για κάθε ζυγό  $i$  έχουμε τις μεταβλητές  $P_{Gi}, Q_{Gi}, |V_i|$  και  $\delta_i$ ) και από αυτές οι μεταβλητές κατάστασης είναι  $2n$  (το μέτρο και η φασική γωνία για κάθε ζυγό  $i$ ). Σ' αυτό το δίκτυο το πλήθος των εξισώσεων που μπορούν να γραφούν και συνδέουν τις  $4n$  μεταβλητές του είναι  $2n$  (μια εξίσωση που δίνει το ισοζύγιο πραγματικής ισχύος σε κάθε ζυγό και μια που δίνει το ισοζύγιο αέργου ισχύος). Άρα το μαθηματικό πρόβλημα της *ανάλυσης ροής φορτίου* δέχεται άπειρες λύσεις, επειδή μπορούμε να επιλέξουμε αυθαίρετα τις τιμές των  $2n$  μεταβλητών και να υπολογίσουμε τις υπόλοιπες  $2n$  μεταβλητές από τις εξισώσεις του ΣΗΕ.



- Όμως από τις άπειρες λύσεις ο μηχανικός λειτουργίας του ΣΗΕ καλείται να επιλέξει μόνο αυτές που πρακτικά επιτρέπεται να λειτουργεί το ΣΗΕ, επειδή κατά την λειτουργία τους πρέπει να πληρούν αυστηρές προδιαγραφές και περιορισμούς.
- Με δεδομένο το φορτίο που αναμένεται να αντιμετωπίσει το ΣΗΕ σε κάποια μελλοντική ώρα, η σημαντική δουλειά του μηχανικού λειτουργίας του ΣΗΕ συνίσταται στην επιλογή της παραγωγής πραγματικής ισχύος και των μέτρων των τάσεων σε όλους τους σταθμούς παραγωγής (μεγέθη που στην πράξη μπορούν να καθοριστούν σύμφωνα με τις εντολές του), ώστε τη συγκεκριμένη ώρα το ΣΗΕ να οδηγηθεί σε μία αποδεκτή κατάσταση λειτουργίας.
- Όταν αποφασίσει για κάποιες τιμές των προαναφερθέντων μεγεθών, με τη χρήση των κατάλληλων προγραμμάτων υπολογιστή ανάλυσης ροής φορτίου υπολογίζει τις τιμές που θα πάρουν όλες οι μεταβλητές στο ΣΗΕ. Αν αυτές δεν παραβιάζουν καμία προδιαγραφή και περιορισμό η απόφαση οριστικοποιείται, διαφορετικά τροποποιείται μέχρι να βρεθεί αποδεκτή λύση.



$$P_i = P_{Gi} - P_{Li} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| y_{ij} |\cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij})|$$

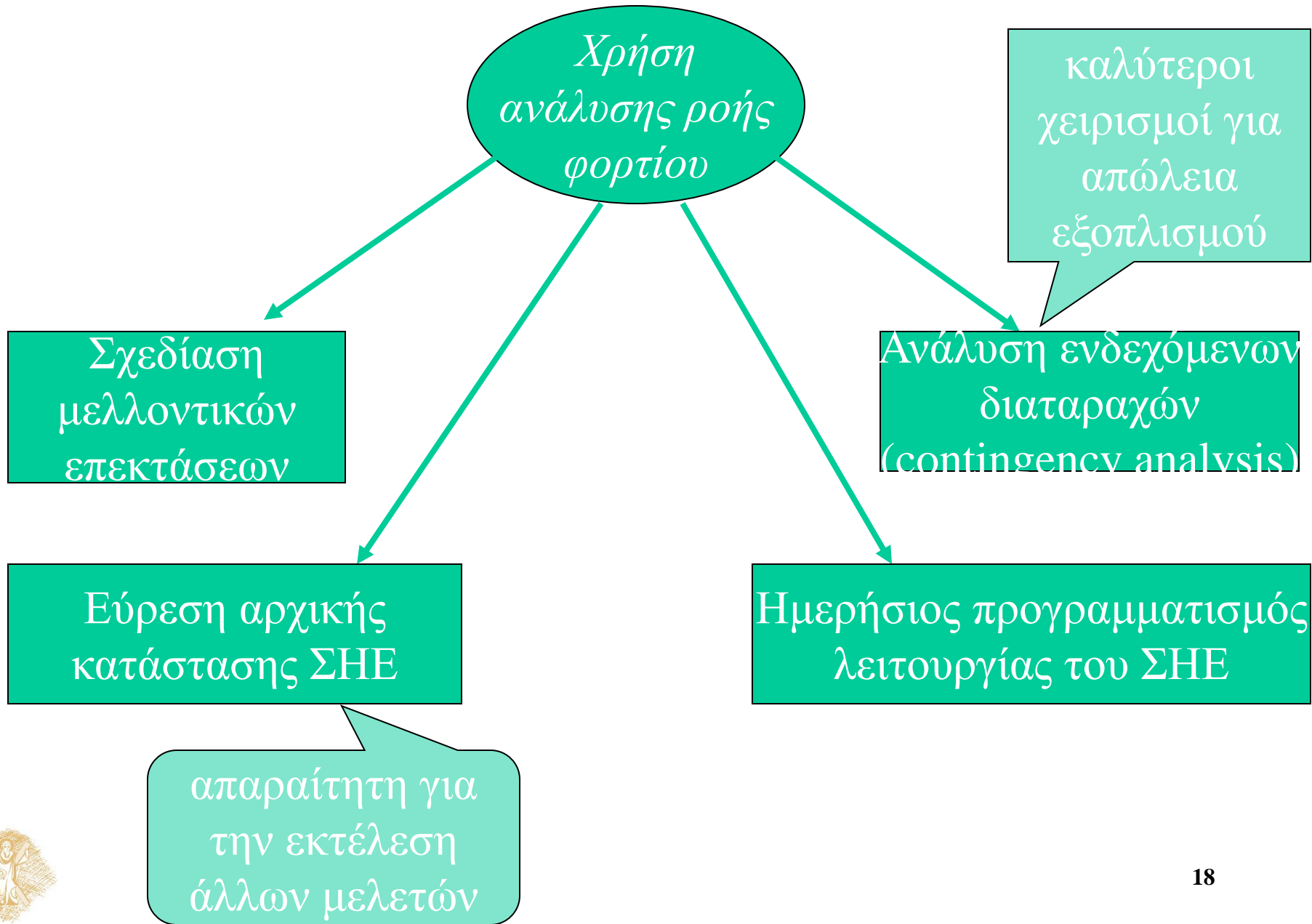
$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Li} = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| y_{ij} |\sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij})|$$





- Επειδή εκτός από τις προδιαγραφές και τους περιορισμούς ζητούμε να τηρούνται και επιπρόσθετα κριτήρια, π.χ. το σύστημα να λειτουργεί με ελάχιστο κόστος καυσίμων (αυτή η λύση είναι γνωστή ως βέλτιστη οικονομική λειτουργία του ΣΗΕ), το πλήθος των αποδεκτών λύσεων είναι πολύ περιορισμένο.
- Με βάση τη λογική που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα, η *ανάλυση ροής φορτίου* είναι το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιείται:
  1. • Όταν σχεδιάζονται μεταβολές ή μελλοντικές επεκτάσεις σε ένα υπάρχον σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.
  2. • Για τον προσδιορισμό της αρχικής κατάστασης λειτουργίας του συστήματος, πληροφορία που είναι απαραίτητη για την εκτέλεση άλλων μελετών.
  3. • Για την οργάνωση του ημερήσιου προγραμματισμού λειτουργίας του ΣΗΕ.





- Για τον προσδιορισμό των καλύτερων χειρισμών που πρέπει να γίνουν στην περίπτωση απώλειας σημαντικού εξοπλισμού (contingency analysis).



# 9.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΗΕ

- Η *οικονομική λειτουργία* των ΣΗΕ επιτυγχάνεται όταν η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών (ηλεκτρικό φορτίο) ικανοποιείται ελαχιστοποιώντας το κόστος παραγωγής (δηλαδή όταν επιτυγχάνουμε το μικρότερο κόστος ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας (KWh)).
- Αυτό το κόστος περιλαμβάνει δύο μέρη. Το ένα μέρος είναι περίπου σταθερό (ανελαστικό) και αφορά το συνολικό κόστος των εγκαταστάσεων, του εξοπλισμού και του προσωπικού. Το δεύτερο μέρος, το οποίο μπορεί και επιδιώκουμε να ελαχιστοποιηθεί, αφορά το κόστος καυσίμου που δαπανάται στους θερμικούς ηλεκτρικούς σταθμούς.



- Η μείωση του κόστους έχει νόημα επειδή τα ΣΗΕ διαθέτουν μια μεγάλη ποικιλία σταθμών παραγωγής, διαφορετικής ηλικίας και απόδοσης. Επειδή το κόστος παραγωγής των μονάδων/KWh δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από την ισχύ που παράγουν και επιπλέον οι συνολικές απώλειες του ΣΗΕ εξαρτώνται από τον τρόπο που θα κατανέμουμε την παραγωγή στις μονάδες, η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής είναι ένα εξαιρετικά πολύπλοκο πρόβλημα.



- Η οικονομική λειτουργία των ΣΗΕ περιλαμβάνει την επίλυση των ακόλουθων προβλημάτων:
- *Οικονομική κατανομή φορτίου:* Το πρόβλημα προσδιορισμού της ισχύος εξόδου των εν λειτουργία θερμικών μονάδων, έτσι ώστε να καλυφθεί η τρέχουσα ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών με το ελάχιστο συνολικό κόστος λειτουργίας των θερμικών μονάδων του ΣΗΕ.
- *Ένταξη θερμικών μονάδων:* Η κατάρτιση ενός προγράμματος ένταξης/κράτησης των θερμικών μονάδων παραγωγής για μια δεδομένη μελλοντική χρονική περίοδο λειτουργίας του ΣΗΕ με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του συστήματος.
- *Υδροθερμική συνεργασία:* Είναι ο προσδιορισμός του προγράμματος λειτουργίας των θερμικών και υδροηλεκτρικών σταθμών ενός ΣΗΕ, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος λειτουργίας του ΣΗΕ κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου.



- Τέλος, σημαντικός παράγοντας στην ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ΣΗΕ είναι ο προγραμματισμός των ανταλλαγών ή αγορών/πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας με τα γειτονικά διασυνδεδεμένα ΣΗΕ.



# 9.5 ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΗΕ

- Με τις μελέτες βραχυκυκλωμάτων προσδιορίζουμε τα ρεύματα που ρέουν στις γραμμές ενός ενεργειακού δικτύου και τις τάσεις που επικρατούν στους ζυγούς του κατά τη διάρκεια διαφορετικών τύπων βραχυκυκλωμάτων, που συμβαίνουν σε διαφορετικές θέσεις του ΣΗΕ.
- Τα βραχυκυκλώματα, κατά σειρά μειούμενης συχνότητας στην εμφάνιση και αυξανόμενης σοβαρότητας, είναι: το μονοφασικό προς γη, το διφασικό, το διφασικό προς γη και το συμμετρικό τριφασικό.
- Το ρεύμα που ρέει σε ένα ΣΗΕ αμέσως μετά από ένα βραχυκύκλωμα είναι πολύ μεγαλύτερο από το ρεύμα μερικούς κύκλους αργότερα (λίγο πριν λειτουργήσουν οι διακόπτες ισχύος) και αυτά τα ρεύματα είναι πολλαπλάσια των κανονικών ρευμάτων φορτίου που ρέουν πριν συμβεί το βραχυκύκλωμα. Γι αυτό τα ρεύματα βραχυκυκλώματος προκαλούν μεγάλες δυναμικές και θερμικές καταπονήσεις και πρέπει να διακόπτονται το ταχύτερο δυνατόν.





*Χρήση μελέτης  
βραχυκυκλωμάτων*

Σχεδίαση  
συστήματος  
προστασίας

Σωστή επιλογή  
των διακοπών

Καθορισμός ρυθμίσεων  
συστήματος προστασίας



- Σκοπός του συστήματος προστασίας του ΣΗΕ είναι να εντοπίσει το ταχύτερο δυνατόν την έναρξη κάποιου βραχυκυκλώματος και να το απομονώσει με το άνοιγμα εκείνων των διακοπών ισχύος που θέτουν εκτός λειτουργίας το μικρότερο τμήμα του ΣΗΕ.
- Όταν η διακοπή της μόνωσης γίνεται μέσω ιονισμένου δρόμου (οπότε λέμε ότι έχουμε παροδικό βραχυκύκλωμα) με το άνοιγμα των κατάλληλων διακοπών διακόπτεται το ρεύμα στον ιονισμένο δρόμο και αρχίζει ο απιονισμός του. Μετά από ένα χρονικό διάστημα 300 ms οι διακόπτες ισχύος συνήθως ξανακλείνουν και αποκαθιστούν την κανονική λειτουργία του ΣΗΕ.
- Με βάση τη θεωρητική ανάλυση του τρόπου υπολογισμού ρευμάτων και τάσεων που επικρατούν κατά τη διάρκεια των βραχυκυκλωμάτων αναπτύχθηκαν προγράμματα υπολογιστή για το γρήγορο, ασφαλή και ακριβή τρόπο υπολογισμού αυτών των μεγεθών. Οι μελέτες βραχυκυκλωμάτων είναι χρήσιμες:



- ● Για τη σχεδίαση του κατάλληλου συστήματος προστασίας του ΣΗΕ.
- ● Για τον καθορισμό των ρυθμίσεων του συστήματος προστασίας.
- ● Για τη σωστή επιλογή των διακοπών του συστήματος προστασίας.



## 9.6 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΗΕ

- Επειδή μέχρι σήμερα δεν έχουμε βρει οικονομικούς τρόπους αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, ένα ΣΗΕ για να βρίσκεται σε ευσταθή κατάσταση λειτουργίας πρέπει να εξασφαλίζει κάθε χρονική στιγμή ισότητα μεταξύ της μηχανικής ισχύος εισόδου (που παρέχεται από τους στροβίλους του) και του τροφοδοτούμενου ηλεκτρικού φορτίου.
- Οποιαδήποτε διαταραχή προκαλεί ανισορροπία μεταξύ των δύο αυτών ισχύων δημιουργεί μηχανικές ταλαντώσεις στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών και πιθανό *αποσυγχρονισμό* τους (*αστάθεια*).
- Με τη μελέτη *μεταβατικής ευστάθειας* υπολογίζουμε την ικανότητα ενός δικτύου να παραμένει σε *συγχρονισμό* μετά από σημαντικές διαταραχές. Μία σύγχρονη γεννήτρια λέμε ότι είναι *συγχρονισμένη* με το δίκτυο όταν η μηχανή μπορεί να αποδίδει ηλεκτρική ισχύ στο δίκτυο.



- Η *μέγιστη ισχύ* που μπορεί να διέρχεται από κάποιες θέσεις του δικτύου, ώστε μετά τη διαταραχή το ΣΗΕ να διατηρήσει την ευστάθειά του, ονομάζεται *όριο ευστάθειας μεταβατικής κατάστασης*.
- *Όριο ευστάθειας μόνιμης κατάστασης* είναι η μέγιστη ροή ισχύος που μπορεί να διέρχεται από κάποιες θέσεις του ΣΗΕ στη μόνιμη κατάσταση, χωρίς να χαθεί η ευστάθειά του.
- *Μεταβατική ευστάθεια* ενός δικτύου είναι η ικανότητά του να αναπτύσσει δυνάμεις αποκατάστασης του συγχρονισμού των στοιχείων του ίσες ή μεγαλύτερες των δυνάμεων διαταραχής, έτσι ώστε να αποκαθιστά την ισορροπία του (να παραμένει σε συγχρονισμό) μετά τη διαταραχή.



- Περιγραφή του τρόπου δημιουργίας των μηχανικών ταλαντώσεων στις σύγχρονες μηχανές.
- Σε ένα κατάλληλα σχεδιασμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει μετά από κάθε διαταραχή να τίθενται εγκαίρως σε λειτουργία εκείνες οι διακοπτικές διαδικασίες που θα απομονώσουν το αίτιο της διαταραχής, αλλά και τις γεννήτριες που οδηγούνται σε αποσυγχρονισμό, ώστε το υπόλοιπο σύστημα να διατηρείται σε ευσταθή κατάσταση λειτουργίας.



Οι μελέτες μεταβατικής ευστάθειας είναι απαραίτητες:

- Για να γίνει η *σχεδίαση* του ενεργειακού συστήματος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αυτό να παραμένει σε κατάσταση ευστάθειας μετά από κάθε διαταραχή.
- Για να *καθοριστεί* το πόσο γρήγορα πρέπει να δράσουν οι διακοπτικές διαδικασίες, ώστε να απομονωθεί *εγκαίρως* το τμήμα του συστήματος που βρίσκεται σε κατάσταση σφάλματος.
- Για να *καθοριστούν* οι χρόνοι *ενεργοποίησης* των διακοπών καθώς επίσης και οι χρόνοι *επανακλεισίματός* τους, διότι από τους χρόνους αυτούς εξαρτάται η δυνατότητα του συστήματος να διατηρήσει την ευστάθειά του μετά από μια διαταραχή.

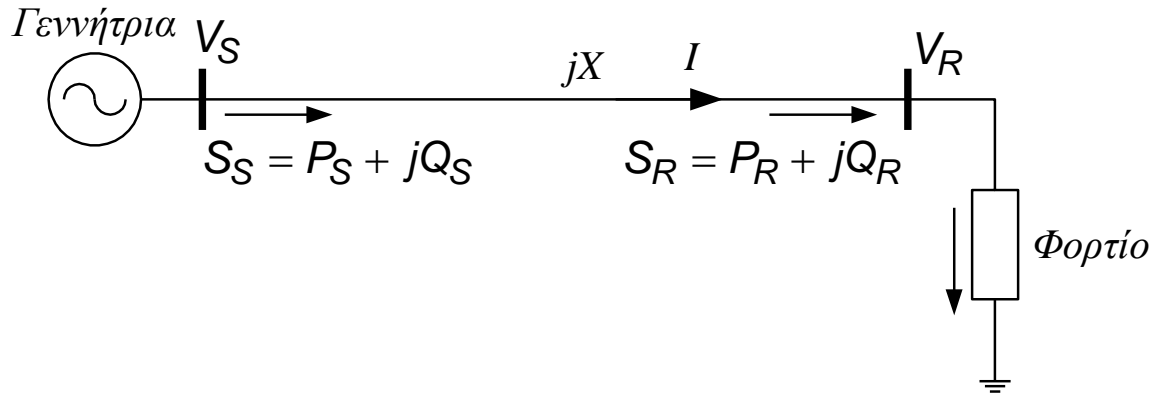


## 9.7 ΑΣΤΑΘΕΙΑ ΤΑΣΗΣ ΣΤΑ ΣΗΕ

- Η αστάθεια τάσης είναι αποτέλεσμα της ανισορροπίας αέργου ισχύος στους ζυγούς των φορτίων. Είναι πρόβλημα των σύγχρονων ΣΗΕ και οφείλεται στη διαφοροποίηση της φύσης των φορτίων και την έλλειψη ελεγχόμενης τοπικής αντιστάθμισης των φορτίων αέργου ισχύος.
- Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου ήταν η μεγάλη συσκότιση της 12ης Ιουλίου 2004 του ελληνικού ΣΗΕ, ένα μήνα πριν την πραγματοποίηση των Ολυμπιακών Αγώνων.
- Θα εξηγήσουμε τώρα τα προβλήματα που παρουσιάζει η διαχείριση της αέργου ισχύος.







Φορτίο τροφοδοτούμενο δια μέσου μιας γραμμής μικρού μήκους

$$S_R = P_R + jQ_R = V_R I^* = V_R \left[ \frac{V_S - V_R}{jX} \right]^* = |V_R| \left[ \frac{|V_S| \cos \delta + j |V_S| \sin \delta - |V_R|}{jX} \right]^* =$$

$$= \frac{|V_S| |V_R|}{X} \sin \delta + j \left[ \frac{|V_S| |V_R| \cos \delta - |V_R|^2}{X} \right]$$

Επομένως:

$$P_R = \frac{|V_S| |V_R|}{X} \sin \delta = P_{\max} \sin \delta \quad \text{και} \quad Q_R = \frac{|V_R|}{X} (|V_S| \cos \delta - |V_R|)$$



$$P_S = \frac{|V_S| |V_R|}{X} \sin \delta = P_{\max} \sin \delta \quad \text{και} \quad Q_S = \frac{|V_S|}{X} (|V_S| - |V_R| \cos \delta)$$

Για  $|V_S| = 1.05$  pu,  $|V_R| = 0.95$  pu και  $\delta = 25^\circ$  βρίσκουμε ότι:

$$Q_R = 0.0017 / X \text{ pu}, \quad Q_S = 0.198 / X \text{ pu} \quad \text{και} \quad P_R = P_S = 0.42 / X \text{ pu}$$

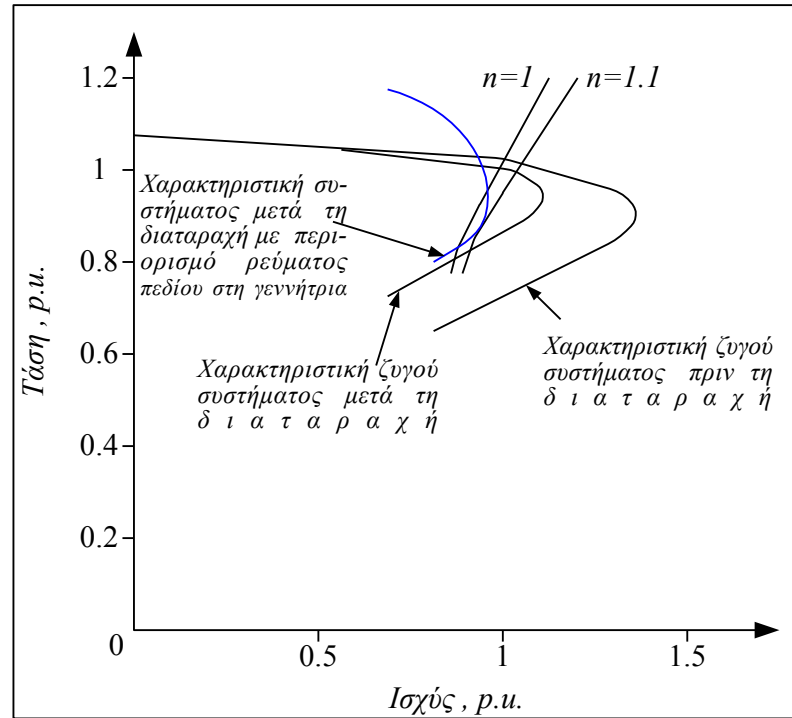
Άρα μόνο το 0.85% της αποστελλόμενης αέργου ισχύος φθάνει στο άλλο άκρο της γραμμής, το 99.15% απορροφάται από τη γραμμή και η κατανάλωση αέργου ισχύος είναι 0.467 Kvar/KW.



- Σε συνθήκες μεγάλης φόρτισης, το δίκτυο καταναλώνει από 0.1-0.3 Kvar/KW, ενώ οι απαιτήσεις των φορτίων είναι της τάξης των 0.4 Kvar/KW. Άρα σε υψηλές φορτίσεις και με δεδομένο το μικρό ποσοστό της αέργου ισχύος που μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, απαιτείται τοπική αντιστάθμιση των αέργων φορτίων.
- Η αστάθεια τάσης είναι ένα δυναμικό φαινόμενο, που περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση των μεταβολών των φορτίων και του εξοπλισμού που διαθέτει το ΣΗΕ για τον έλεγχο της τάσης.



- Το σημείο λειτουργίας προσδιορίζεται από την τομή των χαρακτηριστικών του ζυγού και των χαρακτηριστικών του φορτίου στο ζυγό.



**Σχήμα 9.3** Χαρακτηριστικά του συστήματος και του φορτίου με κινητήρες 75% και ωμικά φορτία 25%.

Για να αντιμετωπίσουμε την αστάθεια τάσης, αφού δεν μπορούμε να επηρεάσουμε τα χαρακτηριστικά του φορτίου, επηρεάζουμε τα χαρακτηριστικά του ΣΗΕ με ενίσχυση της μεταφορικής ικανότητάς του σε κρίσιμες θέσεις και εγκατάσταση σύγχρονων συσκευών αντιστάθμισης αέργου ισχύος με στατικούς διακόπτες στερεάς κατάστασης.



## 9.8 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΗΕ

- Λόγω του μεγάλου μεγέθους των ΣΗΕ για την ανάλυσή τους το 1930 χρησιμοποιήθηκαν αναλυτές δικτύων ΕΡ και ΣΡ και το 1940 χρησιμοποιήθηκαν αναλογικοί υπολογιστές σε συνεργασία με τους αναλυτές ΕΡ.
- Η τελική όμως λύση δόθηκε με την ανάπτυξη των ψηφιακών υπολογιστών, τους οποίους αξιοποίησαν πρώτοι οι αναλυτές ΣΗΕ. Χάρης στις προηγμένες υπολογιστικές τεχνικές, τα σύγχρονα προγράμματα που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση ΣΗΕ προσφέρουν πολύ μεγάλες δυνατότητες στο χρήστη ενεργειακό μηχανικό
- Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές χρησιμοποιούνται στα ΣΗΕ σε εφαρμογές εκτός πραγματικού χρόνου (off-line), αλλά και σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου (on-line).
- Στο δεύτερο τύπο εφαρμογών, οι υπολογιστές είναι μέρος του συστήματος, δέχονται πληροφορίες κατευθείαν από το σύστημα και εκτελούν μία συγκεκριμένη εργασία που τους έχει ανατεθεί στα πλαίσια λειτουργίας του συστήματος.



# 9.9 Ο ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Ένας από τους βασικότερους κλάδους της επιστήμης του ηλεκτρολόγου μηχανικού είναι εκείνος που ασχολείται με τη σχεδίαση, την ανάλυση και τη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.



# Βιβλιογραφία

- Όλα τα σχήματα, οι εικόνες και τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτή την ενότητα είναι από το βιβλίο «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Γ.Β. Γιαννακόπουλος, Ν.Α. Βοβός, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.

