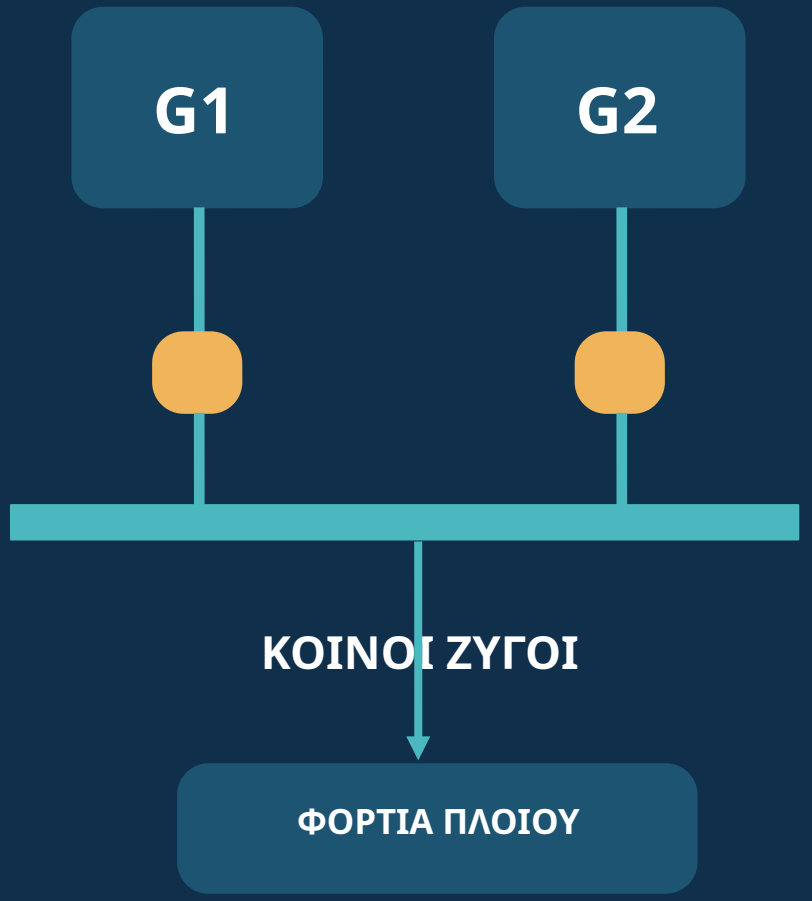
ΤΕΧΝΙΚΟ ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ 03

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

Generator Synchronization & Load Sharing

Από τη σύμπτωση τάσης και συχνότητας έως τη συνεργασία πολλών Η/Ζ



Γιατί είναι σημαντικό το Σεμινάριο 03;

Η συνέχεια των Σεμιναρίων 01 (ΥΤ) και 02 (Ηλεκτροπαραγωγά Ζεύγη)

1

Συνέχεια τροφοδότησης

Πολλά Η/Ζ επιτρέπουν διαχείριση φορτίου, εφεδρεία και συντήρηση, εφόσον προβλέπονται στη σχεδίαση.

2

Σωστή κατανομή

Οι γεννήτριες πρέπει να συνεργάζονται χωρίς υπερφόρτιση και ανεπιθύμητη κυκλοφορία άεργου ρεύματος.

3

Ασφάλεια

Ο λανθασμένος συγχρονισμός μπορεί να προκαλέσει μεγάλες ηλεκτρικές και μηχανικές καταπονήσεις.

Μαθησιακά αποτελέσματα

Μετρήσιμα: ο μαθητής θα μπορεί να…

1

Αναγνωρίζει

Να ονομάζει ζυγούς, γεννήτριες, διακόπτες, όργανα συγχρονισμού, governor και AVR.

2

Υπολογίζει

Να υπολογίζει συχνότητα, φαινόμενη ισχύ και απλή κατανομή kW/kVAr.

3

Αιτιολογεί

Να εξηγεί αποκλίσεις τάσης, συχνότητας, φάσης και ενδείξεις άνισης φόρτισης.

Τι γνωρίζουμε ήδη;

Προαπαιτούμενα από τα προηγούμενα σεμινάρια

1

Από το Σεμινάριο 01

Τριφασικό AC, τάση, ρεύμα, πίνακας διανομής, ζυγοί και ηλεκτρικές προστασίες.

2

Από το Σεμινάριο 02

Diesel → alternator, σχέση στροφών και Hz, governor, AVR και ονομαστικά χαρακτηριστικά.

3

Δεν απαιτείται

Προηγούμενος πραγματικός χειρισμός Η/Ζ ή πίνακα: η παρουσίαση είναι καθαρά εκπαιδευτική.

Προτεινόμενη διδασκαλία: 7 × 45΄

Χωρίζουμε τη γνώση σε βήματα, με χρόνο για διάλογο

1

1η–2η ώρα

Παραλληλισμός, πηγές, διακόπτες, συνθήκες συγχρονισμού και διανυσματική κατανόηση.

2

3η–5η ώρα

kW/kVAr, governor–AVR, droop και PMS, υπολογισμοί, ασφάλεια και διαχείριση φορτίων.

3

6η–7η ώρα

Μελέτες περιπτώσεων, φύλλα εργασίας, προφορικός τεχνικός διάλογος και αξιολόγηση.

Τι σημαίνει «παράλληλη λειτουργία»;

Παραλληλισμός ≠ απλή εκκίνηση δεύτερου Η/Ζ

Μία γεννήτρια

Τροφοδοτεί μόνη της το δίκτυο. Η παρεχόμενη ισχύς πρέπει να επαρκεί για τα φορτία.

Δύο ή περισσότερες

Συνδέονται στους ίδιους ζυγούς αφού εξασφαλιστούν οι προβλεπόμενες συνθήκες και μοιράζονται το φορτίο.

Κοινός ζυγός: κοινή τάση και συχνότητα μετά τη σύνδεση.

Απλουστευμένο μονογραμμικό: δύο Η/Ζ και κοινοί ζυγοί

Σκοπός: να αναγνωρίζουμε ποιος παράγει, ποιος ελέγχει και ποιος διανέμει



ΕΝΟΤΗΤΑ Α

Ηλεκτρικά μεγέθη και προϋποθέσεις

Fundamentals & Synchronizing Conditions

Πριν μιλήσουμε για κλείσιμο διακόπτη, καταλαβαίνουμε τις φυσικές συνθήκες.

Τρεις διαφορετικές ισχείς

Δεν τις συγχέουμε στους υπολογισμούς

1

Ενεργός ισχύς P

kW: ενέργεια ανά χρόνο που μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, θερμότητα κ.λπ.

2

Άεργος ισχύς Q

kVAr: ανταλλαγή ενέργειας με μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία σε AC κυκλώματα.

3

Φαινόμενη ισχύς S

kVA: συνδυασμός ενεργού και άεργου φορτίου, καθοριστικός για τα όρια ρεύματος.

Τριφασική ενεργός ισχύς

Ισορροπημένο, ημιτονοειδές τριφασικό δίκτυο

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

ΟΡΙΣΜΟΙ / ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

P σε W, U πολική τάση (V), I ρεύμα γραμμής (A). Το cosφ είναι συντελεστής ισχύος στις παραπάνω συνθήκες.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Για 440 V, 500 A, cosφ = 0,80:
P ≈ 1,732×440×500×0,80 ≈ 305 kW.

Ο τύπος δεν περιγράφει χωρίς προσαρμογή κάθε μη γραμμικό ή μη ισορροπημένο φορτίο.

Πώς συνδέονται kW, kVAr και kVA;

Σταθερή ημιτονοειδής λειτουργία με κατάλληλο ορισμό P, Q, S

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

ΟΡΙΣΜΟΙ / ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

S: φαινόμενη (kVA), P: ενεργός (kW), Q: άεργος (kVAr). Ισχύει στο κλασικό τρίγωνο ισχύος.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Αν P = 800 kW και Q = 600 kVAr:
$S = \sqrt{(800^2+600^2)} = 1.000$ kVA.

Δεν υποθέτουμε αυτόματα ότι κάθε γεννήτρια μπορεί να δώσει οποιοδήποτε συνδυασμό P και Q.

Συχνότητα και στροφές γεννήτριας

Σύγχρονος εναλλακτήρας σταθερού αριθμού πόλων

$$n = 120 \cdot f / N_p$$

ΟΡΙΣΜΟΙ / ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

n: rpm, f: Hz, N_p: πλήθος μαγνητικών πόλων (όχι ζεύγη πόλων).

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Για f = 60 Hz, N_p = 8:
n = 120×60/8 = 900 rpm.

Η συχνότητα σχετίζεται με μηχανική ταχύτητα και αριθμό πόλων.

Τέσσερις βασικές συνθήκες συγχρονισμού

Απαιτούνται ταυτόχρονα, εντός των επιτρεπόμενων ορίων της εγκατάστασης

1

Σωστή τάση

Το μέτρο της τάσης της γεννήτριας είναι κατάλληλα κοντά στο μέτρο της τάσης των ζυγών.

2

Σωστή συχνότητα

Η διαφορά συχνότητας είναι κατάλληλα μικρή για τη συγκεκριμένη μέθοδο συγχρονισμού.

3

Σειρά και φάση

Ίδια διαδοχή φάσεων και κατάλληλη σχετική φασική γωνία κατά την πραγματική σύνδεση.

Η διαδοχή φάσεων είναι ξεχωριστό ζήτημα

Phase sequence: ABC ≠ ACB

Σωστή διαδοχή

Αν οι φασικές τάσεις ακολουθούν την ίδια σειρά με τους ζυγούς, ο παραλληλισμός μπορεί να αξιολογηθεί ως προς τις υπόλοιπες συνθήκες.

Λανθασμένη διαδοχή

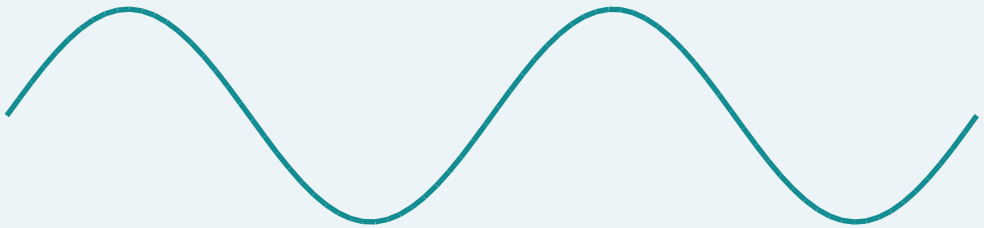
Δεν διορθώνεται απλώς με ρύθμιση governor ή AVR. Απαιτείται κατάλληλος τεχνικός έλεγχος από εξουσιοδοτημένο προσωπικό.

Δεν δίνουμε σε μαθητές οδηγίες πραγματικής σύνδεσης ή δοκιμής.

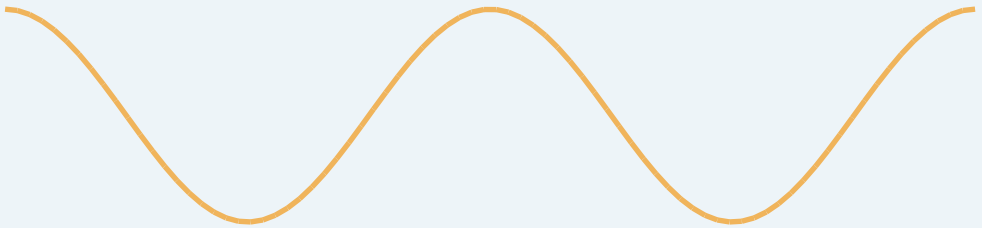
Συγχρονισμός: δύο εναλλασσόμενες πηγές

Σχηματική, όχι λειτουργική διάταξη προς χειρισμό

Ζυγοί / Busbar (αναφορά)



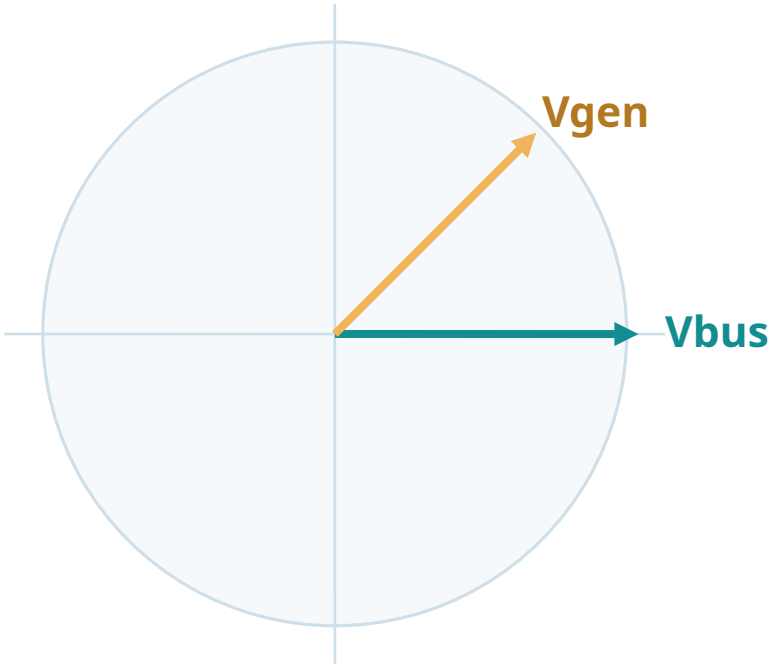
Γεννήτρια πριν τη σύμπτωση



Η φασική διαφορά απεικονίζεται ως χρονική μετατόπιση.

Το διανυσματικό σχήμα της φασικής γωνίας

Γραφική ιδέα της στιγμιαίας διαφοράς φάσης — όχι ένδειξη πραγματικού οργάνου



Φασική διαφορά (Δφ)

Όταν οι δύο φασικές τάσεις έχουν διαφορετική γωνία, η στιγμιαία κυματομορφή τους δεν συμπίπτει. Το όργανο συγχρονισμού δείχνει τη σχετική τους θέση.

Η γωνία είναι μόνο μία από τις απαιτούμενες συνθήκες.

Πώς εμφανίζεται η διαφορά συχνότητας;

Δύο δίκτυα με διαφορετικά Hz αλλάζουν συνεχώς σχετική γωνία

1

Ίδια συχνότητα

Ιδανικά η σχετική γωνία παραμένει σταθερή, εφόσον οι συχνότητες είναι ακριβώς ίδιες.

2

Μικρή διαφορά Δf

Η γωνία μεταβάλλεται αργά· η ένδειξη συγχρονισμού κινείται αργά.

3

Μεγάλη διαφορά Δf

Η ένδειξη κινείται ταχύτερα. Η συγκεκριμένη επιτρεπόμενη διαφορά καθορίζεται από τη σχεδίαση.

Slip frequency — ένα μαθηματικό παράδειγμα

Διαφορά ηλεκτρικών συχνοτήτων δύο τριφασικών πηγών

$$T = 1 / |\Delta f|$$

ΟΡΙΣΜΟΙ / ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

Δf = fγεν − fζυγών σε Hz. T: χρόνος για πλήρη σχετική περιστροφή 360°, εφόσον Δf σταθερή.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Αν Δf = 0,10 Hz:
T = 1/0,10 = 10 s.

Το 0,10 Hz είναι μαθηματικό παράδειγμα· δεν αποτελεί γενική ρύθμιση προστασίας.

Ποιος ελέγχει τις συνθήκες;

Συνδυασμός οργάνων, ρυθμιστών και σχεδιασμένης λογικής

Governor

Στροφές / συχνότητα

→

AVR

Διέγερση / τάση

→

Synchronizer

Σύγκριση ηλεκτρικών μεγεθών

→

Check-sync

Άδεια κλεισίματος βάσει συνθηκών

Η παρουσίαση εξηγεί τη λογική, όχι την ακολουθία χειρισμών.

ΕΝΟΤΗΤΑ Β

Συγχρονισμός και συστήματα προστασίας

Synchronizing, Interlocks & Protections

Κατανοούμε τι επιτηρεί ο εξοπλισμός — χωρίς πραγματικούς χειρισμούς.

Το συγχρονοσκόπιο (Synchroscope)

Εκπαιδευτική ερμηνεία ενδείξεων

1

Φορά περιστροφής

Συνδέεται με το πρόσημο της διαφοράς συχνοτήτων μεταξύ πηγής και ζυγών.

2

Ταχύτητα κίνησης

Σχετίζεται με το μέτρο της διαφοράς συχνότητας.

3

Θέση δείκτη

Δίνει πληροφορία για τη σχετική φάση, όχι από μόνη της για όλα τα απαιτούμενα κριτήρια.

Αυτόματος και χειροκίνητος συγχρονισμός

Η γνώση των μεθόδων δεν σημαίνει αρμοδιότητα χειρισμού

1

Αυτόματος

Ελεγκτής παρακολουθεί μεγέθη και προσαρμόζει κατάλληλα τις εντολές, με προστασίες.

2

Ημιαυτόματος

Η διαδικασία μπορεί να συνδυάζει ανθρώπινη επιλογή και αυτοματοποιημένες επιβεβαιώσεις.

3

Χειροκίνητος

Απαιτεί ειδική εκπαίδευση, εξουσιοδότηση και εφαρμογή των συγκεκριμένων οδηγιών του πλοίου.

Χρόνος κλεισίματος διακόπτη

Η φασική γωνία αλλάζει όσο ο διακόπτης ανταποκρίνεται

Χωρίς αντιστάθμιση

Η σχετική φάση μπορεί να έχει μεταβληθεί μεταξύ εντολής και πραγματικής σύνδεσης των επαφών.

Με σχεδιασμένη αντιστάθμιση

Ο ελεγκτής μπορεί να λαμβάνει υπόψη τον χρόνο κλεισίματος, σύμφωνα με τον κατασκευαστή και τη μελέτη.

Δεν χρησιμοποιούμε συγκεκριμένες γωνίες ή χρόνους ως καθολικές τιμές.

Τι είναι το check-synchronizing relay;

Λογική επιτήρησης συνθηκών παραλληλισμού

1

Ελέγχει

Προκαθορισμένα ηλεκτρικά κριτήρια τάσης, συχνότητας και σχετικής φάσης.

2

Επιτρέπει ή αποκλείει

Συμμετέχει στη λογική που επιτρέπει εντολή κλεισίματος υπό εγκεκριμένες προϋποθέσεις.

3

Δεν υποκαθιστά

Σωστή σχεδίαση, αλληλασφαλίσεις, συντήρηση και εξουσιοδοτημένες διαδικασίες.

Τι κινδυνεύει σε λανθασμένο παραλληλισμό;

Απλουστευμένα αποτελέσματα εκτός συγχρονισμού

1

Ηλεκτρικό ρεύμα

Είναι δυνατόν να προκύψουν πολύ μεγάλα μεταβατικά ρεύματα και απότομες μεταβολές.

2

Μηχανική καταπόνηση

Ο άξονας και οι συνδέσεις μπορούν να υποστούν απότομες ηλεκτρομαγνητικές ροπές.

3

Δίκτυο και φορτία

Αστάθεια τάσης και συχνότητας, ανεπιθύμητες αποζεύξεις και διακοπή παροχής.

Τυπικές αρχές προστασίας

Η ύπαρξη προστασιών δεν σημαίνει ότι κάθε βλάβη είναι ακίνδυνη

1

Reverse power

Ανίχνευση αντίστροφης ενεργού ισχύος· μπορεί να σχετίζεται με ανεπαρκή μηχανική ισχύ της μηχανής.

2

Overcurrent / short-circuit

Επιτηρούν ρεύματα υπερφόρτισης ή σφαλμάτων σύμφωνα με τον σχεδιασμό.

3

U/f/earth-fault

Υπό/υπέρταση, υπό/υπερσυχνότητα και επιτήρηση σφαλμάτων γης κατά την εγκατάσταση.

Τι ΔΕΝ είναι το reverse power;

Αντίστροφη ενεργός ισχύς ≠ απλή στιγμιαία διακύμανση

Φυσική ιδέα

Όταν ένα Η/Ζ παύει να προσφέρει επαρκή μηχανική ισχύ, μπορεί να απορροφά ενεργό ισχύ από τους ζυγούς και να λειτουργεί ως κινητήρας.

Επαγγελματικό όριο

Οι ρυθμίσεις, καθυστερήσεις και ενέργειες προστασίας διαφέρουν ανά εγκατάσταση. Δεν δίνουμε αριθμητικά όρια ως καθολικά.

Διαφορετικές αποκλίσεις, διαφορετικές αιτίες

Προσέγγιση χωρίς πρόωρη διάγνωση

1

Διαφορά Hz

Μπορεί να συνδέεται με governor, μηχανικό φορτίο ή σύστημα ελέγχου, ανάλογα με τη λειτουργία.

2

Διαφορά V

Μπορεί να συνδέεται με διέγερση/AVR ή μεταβολές φορτίων· όχι μία μοναδική εξήγηση.

3

Ασυμμετρία φορτίου

Απαιτεί επιθεώρηση της πραγματικής κατανομής φορτίου και της διαμόρφωσης των κυκλωμάτων.

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ

Κατανομή ενεργού και άεργου φορτίου

kW, kVAr, Governor, AVR & PMS

Μετά τον συγχρονισμό οι γεννήτριες έχουν κοινή ηλεκτρική συχνότητα και τάση ζυγών.

Τι αλλάζει μετά τη σύνδεση;

Η κοινή τάση δεν σημαίνει αυτόματα δίκαιη φόρτιση

Πριν από παραλληλισμό

Οι δύο πηγές έχουν τις δικές τους τάσεις, συχνότητες και σχετικές φάσεις.

Μετά από παραλληλισμό

Μοιράζονται κοινούς ζυγούς: η σωστή κατανομή kW και kVAr εξαρτάται από τους ρυθμιστές και το PMS.

Μία γεννήτρια μπορεί να μοιράζεται σωστά τα kW αλλά λανθασμένα τα kVAr.

Ποιος ρυθμίζει τι;

Ο βασικός πίνακας που πρέπει να απομνημονεύουμε σωστά

1

Governor

Στην παράλληλη λειτουργία η μηχανική ισχύς / ροπή επηρεάζει πρωτίστως τη συμμετοχή σε kW.

2

AVR / διέγερση

Η διέγερση επηρεάζει κυρίως την κατανομή kVAr και τον συντελεστή ισχύος.

3

PMS / load sharing

Επιβλέπει ή συντονίζει την κατανομή, τη διαθέσιμη εφεδρεία και τις προβλεπόμενες λειτουργίες.

Δύο διακριτοί βρόχοι ρύθμισης

Η συνολική λειτουργία προκύπτει από τη συντονισμένη δράση τους

Governor

Καύσιμο / ροπή

→

Diesel

Μηχανική ισχύς

→

Γεννήτρια

Ηλεκτρική ενεργός ισχύς

→

Σύστημα

Μέτρηση kW

Στην παράλληλη λειτουργία, αυξημένη συμμετοχή σε kW απαιτεί αντίστοιχη μηχανική ισχύ.

Η άλλη πλευρά: διέγερση και άεργος ισχύς

Ο εναλλακτήρας χρειάζεται κατάλληλη μαγνήτιση

AVR

Έλεγχος διέγερσης

→

Ρεύμα πεδίου

Μαγνητική ροή

→

Εναλλακτήρας

kVAr / PF

→

Σύστημα

Μέτρηση kVAr

Το AVR δεν είναι απλός «διακόπτης ισχύος» ούτε καθολικός ρυθμιστής kW.

Κατανομή ενεργού φορτίου: απλό παράδειγμα

Δύο ίδιες γεννήτριες με κατάλληλη ενεργή κοινή ρύθμιση

$$Pολ = P_1 + P_2$$

ΟΡΙΣΜΟΙ / ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

Ρολ: συνολικό ενεργό φορτίο, P_1 και P_2: ενεργός ισχύς κάθε Η/Ζ. Αγνοούμε για το παράδειγμα τις μικρές απώλειες.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ρολ = 900 kW και ίση κατανομή:
P_1 = 450 kW, P_2 = 450 kW.

Ίση κατανομή υποθέτουμε μόνο για ίδιες ικανότητες και αντίστοιχη στρατηγική ρύθμισης.

Ίσο φορτίο ή αναλογική κατανομή;

Δύο γεννήτριες διαφορετικής ονομαστικής ενεργού ισχύος

H/Z 1

Ονομαστική 800 kW



600 kW = 75%

H/Z 2

Ονομαστική 400 kW



300 kW = 75%

Συνολικό φορτίο 900 kW. Ισοδυναμία σημαίνει ίδιο ποσοστό της διαθέσιμης ονομαστικής ικανότητας (εφόσον έτσι έχει σχεδιαστεί).

Αναλογική κατανομή σε διαφορετικές γεννήτριες

Κάθε Η/Ζ αναλαμβάνει ίδιο ποσοστό της ονομαστικής ικανότητάς του

$$P_i = Pολ \cdot (P_{ni} / \Sigma P_n)$$

ΟΡΙΣΜΟΙ / ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

P_{ni}: ονομαστική ενεργός ισχύς κάθε Η/Ζ. Υποθέτουμε ίδια συμμετοχή σε ποσοστό και επάρκεια ορίων.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

P_{n1}=800, P_{n2}=400, Ρολ=900 kW: P_1=600 kW και P_2=300 kW.

Στην πράξη απαιτείται έλεγχος διαθέσιμης ισχύος, ορίων μηχανής, kVA, kVAr και PMS.

Υπολογισμός φαινόμενης ισχύος

Για ημιτονοειδή φορτία, με δεδομένα kW και PF

$$S = P / PF$$

ΟΡΙΣΜΟΙ / ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

P: kW, PF: συντελεστής ισχύος, S: kVA. PF > 0 και ≤ 1.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

P = 600 kW, PF = 0,80:
S = 600/0,80 = 750 kVA.

Ο έλεγχος ονομαστικών ορίων δεν περιορίζεται στα kW.

Υπολογισμός άεργου ισχύος

Στο κλασικό τρίγωνο ισχύος ημιτονοειδούς φορτίου

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

ΟΡΙΣΜΟΙ / ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

S σε kVA, P σε kW, Q σε kVAr· αφορά μέτρο άεργου ισχύος. Το πρόσημο συνδέεται με το είδος φορτίου.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

P = 800 kW, S = 1.000 kVA:
$Q = \sqrt{(1.000^2 - 800^2)} = 600$ kVAr.

Η ανεπιθύμητη κατανομή kVAr μπορεί να επιβαρύνει μηχανές χωρίς ισόποσα επιπλέον kW.

Πώς διαπιστώνουμε σωστή κατανομή;

Πρέπει να εξετάζονται περισσότερα από ένα μετρητικά μεγέθη

1

kW

Η πραγματική συμμετοχή ενεργού ισχύος κάθε ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.

2

kVAr και PF

Η άεργος ισχύς και ο συντελεστής ισχύος δείχνουν άλλη διάσταση της φόρτισης.

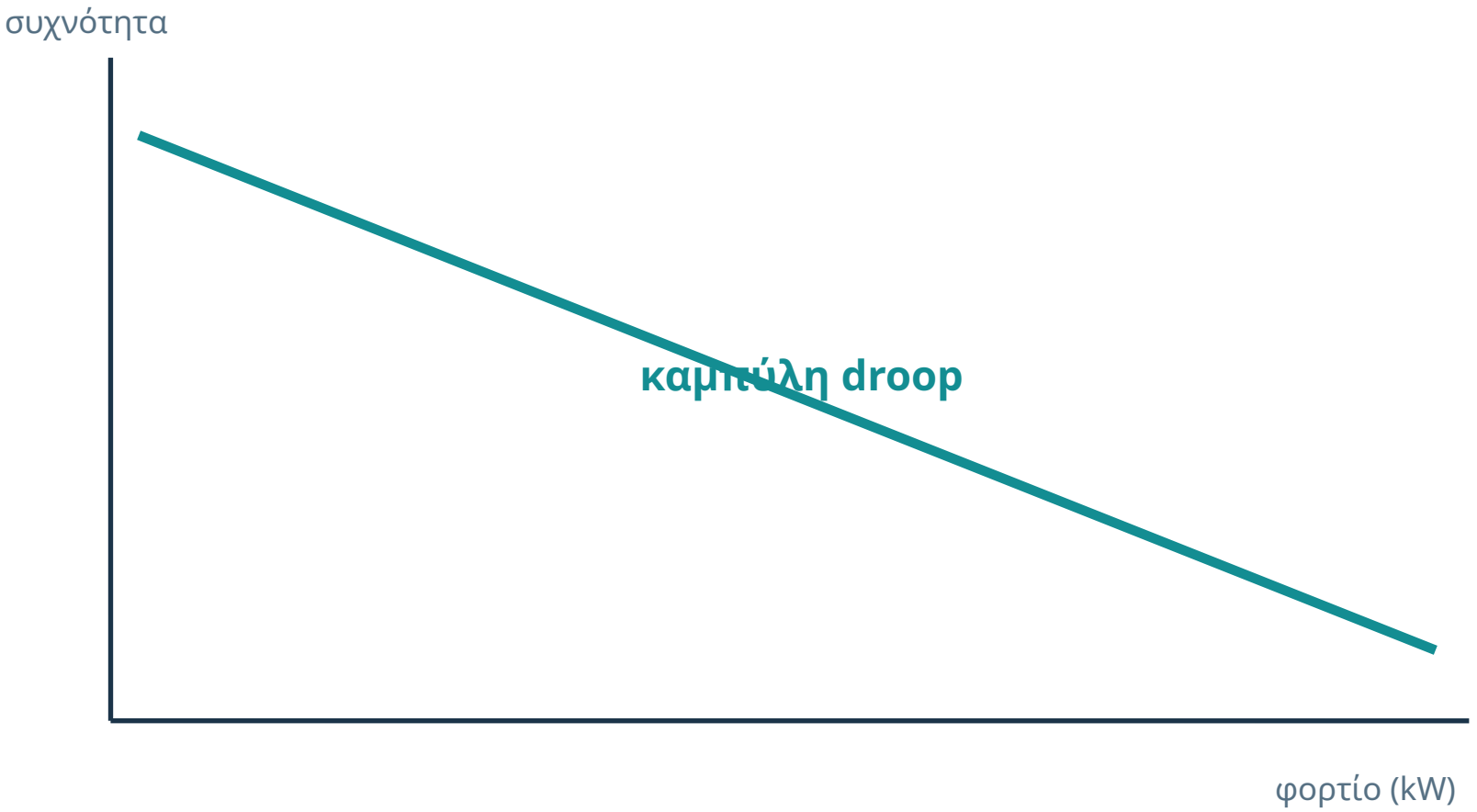
3

A, U, f

Τα ρεύματα, η τάση και η συχνότητα βοηθούν στον εντοπισμό ορίων και ασυνήθιστων ενδείξεων.

Απλή εκπαιδευτική καμπύλη droop

Συχνότητα/στροφές αναφοράς ως συνάρτηση φορτίου — ποιοτικό παράδειγμα, όχι ρυθμίσεις



Τι σημαίνει;

Ο governor επιτρέπει μεταβολή της αναφοράς στροφών/συχνότητας με το φορτίο, διευκολύνοντας σταθερή συμμετοχή γεννητριών.

Droop και isochronous: τι διαφέρουν;

Δεν τα αντιμετωπίζουμε ως συνώνυμα

1

Droop

Προβλεπόμενη κλίση χαρακτηριστικής ελέγχου στροφών/φορτίου που βοηθά στον καταμερισμό.

2

Isochronous

Στόχος η διατήρηση συχνότητας με συντονισμένο έλεγχο και κατάλληλη λογική κατανομής φορτίου.

3

Επιλογή μεθόδου

Εξαρτάται από αρχιτεκτονική, συνεργασία ελεγκτών, απαιτήσεις του πλοίου και σχεδίαση PMS.

Πριν και μετά: δύο διαφορετικές καταστάσεις

ΠΡΙΝ την ηλεκτρική σύνδεση ≠ ΜΕΤΑ τον επιτυχή παραλληλισμό. Ενδεικτικές τιμές.

Α. ΠΡΙΝ ΚΛΕΙΣΕΙ Ο ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ

Τάση γεννήτριας	**440 V**
Τάση ζυγών	**440 V**
f γεννήτριας	**60,05 Hz**
f ζυγών	**60,00 Hz**

Δεν αρκούν οι δύο τιμές Hz για άδεια παραλληλισμού.

Β. ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟ

Κοινή συχνότητα ζυγών	**60,00 Hz**
Γεννήτρια G1	**520 kW**
Γεννήτρια G2	**380 kW**

Οι δύο γεννήτριες συνδέονται στον ίδιο ζυγό και έχουν κοινή ηλεκτρική συχνότητα.

Υποθετικές τιμές. Δεν αποτελούν κριτήρια ασφαλούς συγχρονισμού ούτε επαρκή αξιολόγηση κατανομής φορτίου.

Μελέτη Α — διαφορετικά kW

Δύο γεννήτριες βρίσκονται στον ίδιο ζυγό.

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ

G1 = 700 kW και G2 = 200 kW. Οι δύο μηχανές έχουν ίδια ονομαστική ενεργό ισχύ.
Η συχνότητα ζυγών παραμένει σταθερή.

ΕΞΗΓΗΣΗ

Αυτό δεν αποδεικνύει ισόρροπη κατανομή. Η συμμετοχή kW μπορεί να διαφέρει λόγω εντολών/ρυθμίσεων ελέγχου ή στρατηγικής φόρτισης.

ΑΣΦΑΛΗΣ ΣΤΑΣΗ

Ο μαθητής αναφέρει την απόκλιση και ζητά επαλήθευση PMS και οδηγιών· δεν προτείνει αυθαίρετες ρυθμίσεις.

Εκπαιδευτικό σενάριο — όχι οδηγία χειρισμών πραγματικής εγκατάστασης

Μελέτη Β — ίσα kW, άνισα kVAr

Οι γεννήτριες είναι συνδεδεμένες σε κοινούς ζυγούς.

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ

G1: 400 kW / 340 kVAr.
G2: 400 kW / 90 kVAr.

ΕΞΗΓΗΣΗ

Τα kW είναι ισομοιρασμένα, όχι όμως τα kVAr. Η διέγερση / AVR και η στρατηγική άεργου φορτίου απαιτούν διερεύνηση.

ΑΣΦΑΛΗΣ ΣΤΑΣΗ

Καταγραφή kW, kVAr, A, PF και ειδοποίηση εξουσιοδοτημένου προσωπικού.

Εκπαιδευτικό σενάριο — όχι οδηγία χειρισμών πραγματικής εγκατάστασης

Τι κάνει το Power Management System;

Λειτουργίες ανάλογα με την εγκατάσταση

1

Εποπτεία ισχύος

Μετρά/παρακολουθεί φορτία και διαθέσιμη ισχύ των μονάδων, όπου προβλέπεται.

2

Συντονισμός

Μπορεί να οργανώνει κατανομή, εκκίνηση επιπλέον μονάδων και περιορισμούς μεγάλων φορτίων.

3

Προστασία διαθεσιμότητας

Μπορεί να περιλαμβάνει load shedding και άλλες λειτουργίες αποτροπής απώλειας ισχύος.

Διαθέσιμο περιθώριο ενεργού ισχύος

Εκπαιδευτικό μοντέλο δύο ίδιων Η/Ζ

Pπεριθ = Pδιαθ − Pφορτ

ΟΡΙΣΜΟΙ / ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

Pδιαθ: πραγματικά διαθέσιμη ισχύς, όχι απλώς άθροισμα ονομαστικών. Pφορτ: τρέχον φορτίο.

ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Αν διαθέσιμη ισχύς 1.200 kW και φορτίο 900 kW: Περιθώριο = 300 kW.

Στην πράξη χρειάζεται εφεδρεία για μεταβατικά, μεγάλα φορτία και πιθανή απώλεια μονάδας.

Load shedding και load rejection

Δεν είναι το ίδιο γεγονός

Load shedding

Προγραμματισμένη ή αυτόματη απόρριψη επιλεγμένων μη κρίσιμων φορτίων για προστασία της παροχής.

Load rejection

Απότομη απώλεια καταναλισκόμενου φορτίου από μία πηγή, με πιθανές μεταβολές συχνότητας και τάσης.

Μελέτη Γ — μεγάλη αντλία εκκινεί

Το δίκτυο έχει ήδη σημαντικό φορτίο.

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ

Η υπό εκκίνηση αντλία έχει υψηλή απαίτηση μεταβατικού ρεύματος και ενδεχομένως σημαντική ισχύ.

ΕΞΗΓΗΣΗ

Το ονομαστικό kW λειτουργίας δεν περιγράφει από μόνο του το μεταβατικό συμβάν εκκίνησης.

ΑΣΦΑΛΗΣ ΣΤΑΣΗ

Εξετάζουμε από τη μελέτη την απαιτούμενη εφεδρεία, τη στρατηγική PMS και την επιτρεπόμενη έναρξη φορτίου.

Εκπαιδευτικό σενάριο — όχι οδηγία χειρισμών πραγματικής εγκατάστασης

Μελέτη Δ — reverse power alarm

Το ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος δείχνει αρνητική ενεργό ισχύ.

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ

Παρατηρείται reverse power alarm και παραμένουν ενεργοί οι κοινοί ζυγοί.

ΕΞΗΓΗΣΗ

Πιθανή μείωση μηχανικής ισχύος, αλλά απαιτούνται στοιχεία, χρονική αλληλουχία και έλεγχος ενδείξεων.

ΑΣΦΑΛΗΣ ΣΤΑΣΗ

Δεν επιχειρούμε διαγραφή συναγερμού ή αλλαγή ρυθμίσεων· ακολουθείται η εγκεκριμένη διαδικασία.

Εκπαιδευτικό σενάριο — όχι οδηγία χειρισμών πραγματικής εγκατάστασης

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ

Εφαρμογές, ασφάλεια και αξιολόγηση

Case Studies, Safety & Assessment

Ερμηνεύουμε παρατηρήσεις, όχι διαδικασίες πραγματικών χειρισμών.

Ασφάλεια: τρεις απαράβατες αρχές

Ειδικά σημαντικές για μαθητές χωρίς εμπειρία μηχανοστασίου

1

Καμία εργασία υπό τάση

Η εξοικείωση με διαγράμματα δεν νομιμοποιεί άνοιγμα ή χειρισμό πεδίων διανομής.

2

Εγκεκριμένες διαδικασίες

Μόνο εξουσιοδοτημένο προσωπικό με την προβλεπόμενη εκπαίδευση και έλεγχο κινδύνου.

3

Ενδείξεις ≠ εντολές

Η εκτίμηση τι συμβαίνει διαφέρει από την εκτέλεση χειρισμών σε πραγματικό Η/Ζ.

Κίνδυνοι λανθασμένης ηλεκτρικής απόφασης

Τεχνικός κίνδυνος συνδυάζεται με ανθρώπινο παράγοντα

1

Arc Flash

Κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου και σοβαρής έκθεσης· μπορεί να υπάρχει και σε χαμηλή τάση.

2

Μηχανικές δυνάμεις

Απότομες μεταβατικές ροπές μπορούν να πλήξουν άξονες/συνδέσμους.

3

Blackout

Αποτυχία συντονισμού ή διαδοχικές προστασίες μπορεί να μειώσουν τη διαθεσιμότητα του δικτύου.

Πώς διαβάζουμε ένα περιστατικό;

Χρήσιμο πρότυπο τεχνικής σκέψης για την τάξη

1

Περιγράφω

Τι ακριβώς δείχνουν τα όργανα; Σε ποια χρονική σειρά;

2

Συσχετίζω

Ποια σχέση έχει το γεγονός με governor, AVR, kW, kVAr και φορτίο;

3

Τεκμηριώνω

Ποια στοιχεία λείπουν; Τι αναφέρω χωρίς να ισχυρίζομαι διάγνωση που δεν τεκμηριώνεται;

Ερώτηση 1 — προϋποθέσεις

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Αρκεί να έχουν δύο γεννήτριες ίδια συχνότητα για να παραλληλιστούν;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Όχι.

ΓΙΑΤΙ;

Απαιτούνται και συμβατή τάση, σωστή διαδοχή φάσεων, κατάλληλη φασική γωνία και οι προβλεπόμενοι έλεγχοι.

Ερώτηση 2 — governor

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Ποια ρύθμιση σχετίζεται πρωτίστως με την κατανομή kW;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Ο governor / έλεγχος μηχανικής ισχύος.

ΓΙΑΤΙ;

Η ενεργός ισχύς προέρχεται από τη μηχανική ισχύ που παρέχει η κινητήρια μηχανή.

Ερώτηση 3 — AVR

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Δύο H/Z έχουν ίσα kW αλλά άνισα kVAr. Είναι βέβαιο ότι όλα λειτουργούν σωστά;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Όχι.

ΓΙΑΤΙ;

Η κατανομή άεργου φορτίου μπορεί να απαιτεί χωριστή αξιολόγηση διέγερσης και ελέγχου AVR.

Ερώτηση 4 — κοινή συχνότητα

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Μπορούν δύο γεννήτριες στον ίδιο ισχυρό ηλεκτρικό ζυγό να έχουν μόνιμα διαφορετική συχνότητα τάσης;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Όχι, στη συνήθη σύγχρονη παράλληλη λειτουργία.

ΓΙΑΤΙ;

Η κοινή ηλεκτρική συχνότητα επιβάλλεται από τη συνδεδεμένη κατάσταση· οι φορτίσεις τους διαφέρουν.

Ερώτηση 5 — υπολογισμός

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Δύο ίδιες γεννήτριες μοιράζονται 840 kW ισόποσα. Πόσα kW δίνει καθεμία;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

420 kW.

ΓΙΑΤΙ;

840/2=420. Η υπόθεση ίσης κατανομής δίνεται από την εκφώνηση.

Ερώτηση 6 — διαφορετικές ονομαστικές

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Η/Ζ 800 kW και 400 kW μοιράζονται 900 kW στο 75% της ικανότητάς τους. Ποια είναι η συμμετοχή;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

600 kW και 300 kW.

ΓΙΑΤΙ;

800×0,75=600 και 400×0,75=300 kW.

Ερώτηση 7 — συχνότητα

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Εναλλακτήρας 8 πόλων γυρίζει με 900 rpm. Ποια η συχνότητα;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

60 Hz.

ΓΙΑΤΙ;

$f = n \times N_p / 120 = 900 \times 8 / 120 = 60$ Hz.

Ερώτηση 8 — slip frequency

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Αν η διαφορά συχνότητας είναι 0,20 Hz, σε πόσα δευτερόλεπτα η σχετική φάση κάνει 360°;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

5 s.

ΓΙΑΤΙ;

T=1/0,20=5 s, εφόσον η διαφορά παραμένει σταθερή.

Ερώτηση 9 — συντελεστής ισχύος

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Μία γεννήτρια παρέχει 600 kW με PF=0,8. Πόσα kVA αντιστοιχούν;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

750 kVA.

ΓΙΑΤΙ;

S=P/PF = 600/0,8 = 750 kVA, για τις δοθείσες συνθήκες.

Ερώτηση 10 — προστασίες

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Τι περιγράφει ο όρος reverse power;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Αντίστροφη ροή ενεργού ισχύος προς τη γεννήτρια.

ΓΙΑΤΙ;

Μπορεί ο εναλλακτήρας να απορροφά ενεργό ισχύ όταν η κινητήρια μηχανή δεν παρέχει αρκετή μηχανική ισχύ.

Ερώτηση 11 — PMS

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Εάν αυξηθεί απότομα το φορτίο, αρκεί μόνο το άθροισμα των ονομαστικών kW;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Όχι.

ΓΙΑΤΙ;

Χρειάζεται να εξεταστούν πραγματικά διαθέσιμη ισχύς, μεταβατικές απαιτήσεις, εφεδρεία και PMS.

Ερώτηση 12 — ασφάλεια

Σκέφτομαι πρώτα · αιτιολογώ · συγκρίνω την απάντησή μου

Μπορεί ένας μαθητής να εφαρμόσει τις διαφάνειες ως οδηγίες πραγματικού συγχρονισμού;

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Όχι.

ΓΙΑΤΙ;

Το υλικό προορίζεται για τεχνική κατανόηση· οι χειρισμοί ανήκουν σε εξουσιοδοτημένους επαγγελματίες.

Τα 3 πράγματα που πρέπει να θυμάσαι

Εάν αυτά είναι ξεκάθαρα, έχει επιτευχθεί ο βασικός στόχος

1

Πριν τη σύνδεση

Σωστή τάση, συχνότητα, διαδοχή φάσεων και κατάλληλη στιγμιαία φασική σχέση.

2

Μετά τη σύνδεση

Governor ↔️ kW, AVR/διέγερση ↔️ kVAr· απαιτείται συντονισμός πραγματικών φορτίων.

3

Πάντα

Τεχνική τεκμηρίωση, επιτήρηση, εγκεκριμένες διαδικασίες και σεβασμός αρμοδιοτήτων.

Μικρό δίγλωσσο λεξιλόγιο I

Η ορολογία χρησιμοποιείται στη διεθνή τεχνική τεκμηρίωση

1

Synchronization

Συγχρονισμός: κατάλληλη σύμπτωση ηλεκτρικών χαρακτηριστικών δύο πηγών για σύνδεση.

2

Busbar

Ζυγός: κοινός αγώγιμος συλλέκτης ηλεκτρικής διανομής.

3

Synchroscope

Συγχρονοσκόπιο: όργανο σχετικής φάσης και διαφοράς συχνότητας.

Μικρό δίγλωσσο λεξιλόγιο II

Πλήρεις ορισμοί παρέχονται στο συμπληρωματικό γλωσσάριο

1

Governor

Ρυθμιστής στροφών / μηχανικής ισχύος: συνδέεται κυρίως με kW.

2

AVR

Automatic Voltage Regulator: ελεγκτής τάσης/διέγερσης, σημαντικός για kVAr.

3

PMS

Power Management System: εποπτεία/συντονισμός παραγωγής και διαθέσιμης ισχύος.

Το σεμινάριο δεν αποτελεί εγχειρίδιο χειρισμών

Όρια ασφάλειας και επαγγελματικής ευθύνης

Για την τάξη

Οι μαθητές μελετούν αριθμητικά παραδείγματα, διαγράμματα, τεχνικές ενδείξεις και ερωτήσεις.

Για το πλοίο

Απαιτούνται εγκεκριμένες διαδικασίες, εξουσιοδότηση, αλληλασφαλίσεις, κατάλληλη επιτήρηση και κανονιστική συμμόρφωση.

Οι τεχνικές τιμές των παραδειγμάτων είναι υποθετικές και δεν προτείνονται ως ρυθμίσεις.

Βιβλιογραφία και τεχνικός έλεγχος

Ενδεικτικές πηγές επιστημονικής επαλήθευσης (όχι αναπαραγωγή προστατευμένου υλικού)

IEC 60092-201:2019	Electrical installations in ships — System design — General	webstore.iec.ch/en/publication/33782
IEC 60092-301:2025	Electrical installations in ships — Generators and motors	webstore.iec.ch/en/publication/94034
IEC 60092-202:2016	Electrical installations in ships — Protection	webstore.iec.ch/en/publication/25899
IEC 60092-504:2026	Automation, control and instrumentation — including PMS	webstore.iec.ch/en/publication/68493
IMO STCW model course (ETO)	Coupling, load sharing and changing over generators	maredu.hcg.gr (STW 44/3/1)
DEIF technical documentation	Synchronising controllers; kW/kVAr load sharing	documentation.deif.com / deifsupport.deif.com

Ολοκλήρωση Σεμιναρίου 03

Σύνδεση με τη συνέχεια της εγκεκριμένης σειράς

Πλέον κατανοούμε γιατί δύο γεννήτριες πρέπει πρώτα να συγχρονιστούν και μετά να μοιραστούν με ορθό τρόπο το ενεργό και το άεργο φορτίο.

Επόμενο: Σεμινάριο 04 — Blackout και Ηλεκτρική Παροχή Ανάγκης