



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΓΟΥ
ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΕΝΩΝ
ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ
ΑΞΟΝΑ»**

Του Προπτυχιακού Φοιτητή

Κωνσταντίνου Γ. Βουτζουλίδη

Επιβλέπων

**Ιωάννης Προυσαλίδης, Επίκουρος Καθηγητής,
Τμήμα Ναυπηγών Μηχ. Μηχ.**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια εξέτασης, σε στατικό επίπεδο, του τρόπου επιμερισμού των φορτίων ενός πλοίου, ανάμεσα στις συμβατικές diesel γεννήτριες και των αξονικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργεια σε λειτουργία εν παραλλήλω. Θα προσπαθήσουμε να βρούμε λύση σε τυχόν προβλήματα ανισοκατανομής στον επιμερισμό της φόρτισης όπως επίσης και να εξετάσουμε τη συμπεριφορά των αυτόματων συστημάτων ελέγχου των γεννητριών συναρτήσει της ευαισθησίας των μετρητικών τους οργάνων.

Τα δεδομένα για τις γεννήτριες που χρησιμοποιούνται στη παρούσα εργασία έχουν προκύψει ύστερα από αναλυτικές μετρήσεις που έγιναν σε πραγματικό σύστημα πλοίου του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού, από επιστημονική ομάδα με επικεφαλής τον κ. Ιωάννη Προυσαλίδη, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και με τη βοήθεια ομάδας των Ναυπηγείων Ελευσίνας. Το πλοίο αυτό παρουσίαζε πρόβλημα στον επιμερισμό ενεργού και αέργου ισχύος μεταξύ των γεννητριών του, πρόβλημα το οποίο, όπως είπαμε, καλούμαστε να εξετάσουμε και να προσπαθήσουμε να επιλύσουμε στην παρούσα διπλωματική.

Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να πούμε, ότι στην εργασία αυτή, θα καταστρώσουμε ένα σύστημα εξισώσεων με τις οποίες να εκφράζεται μαθηματικά το πρόβλημα επιμερισμού της φορτίσεως ανάμεσα σε γεννήτριες εν παραλλήλω και το οποίο έχουμε μοντελοποιήσει σε ηλεκτρονική μορφή, με χρήση του υπολογιστικού συστήματος “Excel”.

Τέλος, πρέπει να τονίσουμε, ότι στην παρούσα εργασία, ενεργό ρόλο είχε και ο συμφοιτητής και συνάδελφος στη σχολή Ναυπηγών Μηχ. Μηχ. Ηλίας Ξανθόπουλος, ο οποίος ανέλαβε εν τέλη την δυναμική αντιμετώπιση του ίδιου προβλήματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	2
2.1. <i>Κινητήριες Μηχανές</i>	2
2.2. <i>Γεννήτριες</i>	2
2.3. <i>Στρεφόμενοι Ποκνοτές</i>	3
2.4. <i>Ρυθμιστές Στροφών (Speed Governor)</i>	3
2.5. <i>Συστήματα Διεγέρσεως και Ρυθμιστές Τάσεως (AVR)</i>	4
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	6
3.1. <i>Γενικά</i>	6
3.2. <i>Πλεονεκτήματα Αξονικών Γεννητριών</i>	7
3.3. <i>Μειονεκτήματα Αξονικών Γεννητριών</i>	8
4. ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΓΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	11
1. ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥ	11
1.1. <i>ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ</i>	11
1.2. <i>ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ P-Δ ΚΑΙ Q-V</i>	14
2. ΑΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥ	18
2.1. <i>ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΕΡΓΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ</i>	18
2.2. <i>ΑΞΟΝΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΜΕ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΠΥΚΝΩΤΗ</i>	21
3. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΩΝ	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΙΟΥΣΑΣ ΚΑΙ ΖΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ	25
1. ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ	25
2. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΓΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	27
2.1. <i>ΑΚΡΙΒΗΣ ΛΥΣΗ (με M Γεννήτριες)</i>	27
2.1.1. <i>Πρωτεύουσα ρύθμιση - Αυτορύθμιση</i>	27
2.1.2. <i>Δευτερεύουσα ρύθμιση</i>	28
2.2. <i>ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΛΥΣΗ</i>	29
2.2.1. <i>Πρωτεύουσα ρύθμιση - Αυτορύθμιση</i>	29
2.2.2. <i>Δευτερεύουσα ρύθμιση</i>	29
3. ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ NEWTON – RAPHSON	31
3.1. <i>Αυτορύθμιση - Ιουσα ΡΥΘΜΙΣΗ</i>	31
3.2. <i>Ζουσα ΡΥΘΜΙΣΗ</i>	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ EXCEL	35
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	35
2. ΑΡΧΕΙΟ «PROGRAM 1 (CASE 1 – REAL CONDITIONS).XLS ».....	36

2.1.	ΦΥΛΛΟ “(P) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft).....	36
2.2.	ΦΥΛΛΟ “ΔΟΚΙΜΕΣ” – (4 Diesel +2 Shaft)	38
2.3.	ΦΥΛΛΟ “(Q) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)	42
2.4.	ΦΥΛΛΟ “(P) – S1+S6” – (2 Shaft).....	44
2.5.	ΦΥΛΛΟ “(Q) – S1+S6” – (2 Shaft).....	46
2.6.	ΦΥΛΛΟ “(P) – S+D” – (1 Diesel + 1 Shaft).....	48
2.7.	ΦΥΛΛΟ “(Q) – S+D” – (1 Diesel +2 Shaft).....	50
2.8.	ΦΥΛΛΟ “(P) – S1+S2+2xD” – (2 Diesel +2 Shaft).....	52
2.9.	ΦΥΛΛΟ “(Q) – S1+S2+2xD” – (2 Diesel +2 Shaft).....	54
3.	ΑΡΧΕΙΟ «PROGRAM 1 (CASE 2 - TUNED).XLS »	56
3.1.	ΦΥΛΛΟ “(P) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft).....	56
3.2.	ΦΥΛΛΟ “ΔΟΚΙΜΕΣ” – (4 Diesel + 2 Shaft)	58
3.3.	ΦΥΛΛΟ “(Q) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)	62
4.	ΑΡΧΕΙΟ «PROGRAM 1 (CASE 3 – 100% LOAD).XLS »	64
4.1.	ΦΥΛΛΟ “(P) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft).....	64
4.2.	ΦΥΛΛΟ “(Q) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft).....	66
5.	ΑΡΧΕΙΟ «PROGRAM 1 (CASE 4 – 50% LOAD).XLS »	68
5.1.	ΦΥΛΛΟ “(P) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft).....	68
5.2.	ΦΥΛΛΟ “(Q) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft).....	70
6.	ΑΡΧΕΙΟ «PROGRAM 2 (CASE 1 – REAL CONDITIONS).XLS »	72
6.1.	ΦΥΛΛΑ “Auto (1-4)”, “Auto (5-8)” – (4 Diesel +2 Shaft).....	72
6.2.	ΦΥΛΛΟ “Secondary” – (4 Diesel +2 Shaft)	75
7.	ΑΡΧΕΙΟ «PROGRAM 2 (CASE 2 - TUNED).XLS »	78
7.1.	ΦΥΛΛΑ “Auto (1-4)”, “Auto (5-8)” – (4 Diesel +2 Shaft).....	78
7.2.	ΦΥΛΛΟ “Secondary” – (4 Diesel +2 Shaft)	81
8.	ΑΡΧΕΙΟ «PROGRAM 2 (CASE 3 – 100% LOAD).XLS »	84
8.1.	ΦΥΛΛΑ “Auto (1-4)”, “Auto (5-8)” – (4 Diesel +2 Shaft).....	84
8.2.	ΦΥΛΛΟ “Secondary” – (4 Diesel +2 Shaft)	87
9.	ΑΡΧΕΙΟ «PROGRAM 2 (CASE 4 – 50% LOAD).XLS »	90
9.1.	ΦΥΛΛΑ “Auto (1-4)”, “Auto (5-8)” – (4 Diesel +2 Shaft).....	90
9.2.	ΦΥΛΛΟ “Secondary” – (4 Diesel +2 Shaft)	93
10.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	96

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	97
-------------------	----

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	99
------------------	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΟΛΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΣ ΦΥΛΛΩΝ EXCEL.....	Π-1
-----------------------------------	-----

1.	ΑΡΧΕΙΑ “PROGRAM 1”	Π-1
1.1.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΝΟΜΑΤΟΣ	Π-1
1.2.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	Π-2
2.	ΑΡΧΕΙΑ “PROGRAM 2”	Π-4
2.1.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΝΟΜΑΤΟΣ	Π-4
2.2.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	Π-5
3.	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ (CASES)	Π-6
3.1.	Case 1 – Real Conditions.....	Π-6
3.2.	Case 2 - Tuned	Π-6
3.3.	Case 3 – 100% Load	Π-6
3.4.	Case 4 – 50% Load	Π-6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία γίνεται από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη με συμβατικές Diesel γεννήτριες. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως, εκτός από τις συνηθισμένες Diesel γεννήτριες έχουν προστεθεί και τα λεγόμενα αξονικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής, δηλαδή γεννήτριες που στρέφονται από την κύρια προωστήρια μηχανή του πλοίου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι και διαμορφώσεις αξονικών ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται σήμερα. Η πρόκληση όμως που ανακύπτει αφορά τα προβλήματα συγχρονισμένης και εν παραλλήλω λειτουργίας αυτών των συστημάτων με τα συμβατικά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται το στατικό πρόβλημα επιμερισμού ενεργού και αέργου φορτίσεως μεταξύ παραλληλισμένων συμβατικών γεννητριών και γεννητριών άξονα. Παρατίθεται η διεξοδική ανάλυση των εξισώσεων επιμερισμού φορτίου και οι μέθοδοι επίλυσης της λεγόμενης 1ουσας & 2ουσας ρύθμισης συχνότητας και τάσης.

Στην εργασία αυτή, πρέπει να σημειωθεί, ότι δεν περιλαμβάνεται η δυναμική συμπεριφορά για το συγκεκριμένο πρόβλημα (επιμερισμού φορτίσεως), η οποία αναπτύσσεται στη διπλωματική εργασία του συναδέλφου Ηλία Ξανθόπουλου και η οποία έχει αναπτυχθεί στο υπολογιστικό πακέτο MATLAB.[4]

Τέλος πρέπει να τονίσουμε πως η συγκεκριμένη εργασία προέκυψε ύστερα από μελέτη του Ε.Μ.Π. σε πλοίο του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού, με σκοπό την επίλυση του έντονου προβλήματος που παρουσιαζόταν στον επιμερισμό φορτίσεως του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους του σκάφους.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

2.1. Κινητήριες Μηχανές

Κινητήρια μηχανή ονομάζεται γενικά κάθε μηχανή που παράγει κινητήριο ωφέλιμο μηχανικό έργο. Η διάταξη της σύγχρονης γενικά μηχανής είναι τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται τελικά η κίνηση του λεγόμενου άξονα της μηχανής από τον οποίο και παραλαμβάνεται το κινητήριο ή ωφέλιμο έργο. [1] Όλες οι κινητήριες μηχανές κατά την λειτουργία τους παραλαμβάνουν κατά κανόνα ενέργεια κάποιας μορφής π.χ. θερμική, ηλεκτρική ή υδραυλική κλπ. και την μετατρέπουν (ορθότερα μέρος αυτής) σε *μηχανική ενέργεια* ή *κινητήριο έργο*. Ανάλογα της μορφής της ενέργειας που παραλαμβάνουν οι κινητήριες μηχανές διακρίνονται σε:

1. Θερμικές μηχανές ή θερμοκινητήρες: Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι ατμομηχανές, οι ατμοστρόβιλοι, οι αεριοστρόβιλοι, οι βενζινοκινητήρες ή βενζινομηχανές, οι αεριομηχανές, οι πετρελαιομηχανές ή κινητήρες Diesel κ.ά.
2. Υδραυλικοί κινητήρες. Στη κατηγορία αυτή οι μηχανές καταναλίσκουν υδραυλική ενέργεια. και
3. Ηλεκτρικοί κινητήρες ή ηλεκτροκινητήρες.

Οι ηλεκτρογεννήτριες, όπως προαναφέραμε, ανήκουν στην πρώτη κατηγορία, τις θερμικές μηχανές και μετατρέπουν την θερμική ενέργεια του καυσίμου Diesel σε ηλεκτρική. Την παραγόμενη αυτή ενέργεια, την καταναλώνουν οι ηλεκτρικοί κινητήρες για να την μετατρέψουν σε κινητική.

Τυπικά παραδείγματα ηλεκτροκινητήρων που μπορούμε να συναντήσουμε πάνω σε πλοία και που ασχολούμαστε στην εργασία αυτή, είναι οι διάφορες αντλίες νερού, π.χ. αντλίες πυρόσβεσης, το bow thruster κτλ.

2.2. Γεννήτριες

Ηλεκτρική γεννήτρια θεωρείται η συσκευή που μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η πηγή της κινητικής ή καλύτερα της μηχανικής ενέργειας μπορεί να είναι μια

παλινδρομική μηχανή (ΜΕΚ), ένας αμοστρόβιλος ή ακόμα και ένας υδροστρόβιλος. [1]

Η γεννήτρια αποτελείται από δύο μέρη: το ακίνητο μέρος της που λέγεται στάτορας (στάτης – stator), στο οποίο υπάρχουν μαγνήτες (συγκεκριμένα ηλεκτρομαγνήτες) και το κινητό μέρος της που λέγεται ρότορας (rotor) στο οποίο υπάρχουν πηνία. Έτσι η γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, όταν ένα πηνίο (τύλιγμα πεδίου στο δρομέα) στραφεί μέσα σ' ένα Μαγνητικό Πεδίο, τότε στους ακροδέκτες του τυλίγματος του τύμπανου που βρίσκεται στον στάτη δημιουργείται το ηλεκτρικό ρεύμα. Το τύλιγμα πεδίου (ή διεγέρσεως) που βρίσκεται στον δρομέα, τροφοδοτείται από συνεχές ρεύμα που προσάγεται στο τύλιγμα με ψήκτρες που ολισθαίνουν πάνω σε δακτυλίους.

2.3. Στρεφόμενοι Πυκνωτές

Ο στρεφόμενος πυκνωτής (synchronous condenser) είναι ουσιαστικά μία σύγχρονη μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος, η οποία δεν είναι συνδεδεμένη στο σύστημα με κάποιο κινητό μέρος. Το πεδίο του στρεφόμενου πυκνωτή ελέγχεται από έναν ρυθμιστή τάσεως (AVR), είτε για να παράγει, είτε για να απορροφήσει άεργη ισχύ, αναλόγως με το τι ακριβώς ζητείται από το σύστημα.

2.4. Ρυθμιστές Στροφών (Speed Governor)

Η εξισορρόπηση της παραγόμενης ισχύος και φορτίου και η διατήρηση της επιθυμητής συχνότητας σ' ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με τους ρυθμιστές στροφών των γεννητριών, οι οποίοι ελέγχουν τη μηχανική ισχύ που παράγεται από τις κινητήριες μηχανές. Οι ρυθμιστές στροφών μπορεί να θεωρηθούν σαν μηχανισμοί ελέγχου είτε της συχνότητας, είτε της ισχύος.

Η ρύθμιση της συχνότητας σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας συνιστάται στη συνεχή προσαρμογή της παραγόμενης ισχύος από τις γεννήτριες προς το φορτίο του συστήματος, ώστε η συχνότητα να διατηρεί συνεχώς την κανονική της τιμή. Αν δεν γινόταν αυτό, οι γεννήτριες δεν θα ήταν σε θέση να παραλάβουν μια αύξηση φορτίου γιατί το άνοιγμα της αντλίας καυσίμου θα έμενε σταθερό και θα επέτρεπε μόνο μία ορισμένη ισχύ εισόδου στη μονάδα. Το αποτέλεσμα θα ήταν επιβράδυνση των μηχανών (για δεδομένη αύξηση φορτίου) και μείωση της συχνότητας του συστήματος.

Αν μια γεννήτρια τροφοδοτεί ένα απομονωμένο φορτίο, ο ρυθμιστής στροφών λειτουργεί ελέγχοντας τη συχνότητα. Αν η γεννήτρια συνδέεται σ' ένα μεγάλο σύστημα, η ταχύτητα περιστροφής της είναι δεσμευμένη από τη συχνότητα του συστήματος και ο ρυθμιστής στροφών ελέγχει στην ουσία την παραγόμενη ισχύ.

Ο ρυθμιστής στροφών διαθέτει δύο τύπους ρυθμίσεων. Την πρωτεύουσα ρύθμιση και τη δευτερεύουσα.

➤ Πρωτεύουσα ρύθμιση

Μια μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της γεννήτριας γίνεται αντιληπτή από το φυγοκεντρικό ρυθμιστή που είναι συνδεδεμένος με τον άξονά της. Η μεταβολή αυτή μετατρέπεται σε σήμα-εντολή για τη μετακίνηση της δικλίδας του αμμοστροβίλου, είτε των ρυθμιστικών πτερυγίων του υδροστροβίλου, ώστε να προσαρμοστεί ανάλογα η μηχανική ισχύς που παράγεται από το στρόβιλο.

➤ Δευτερεύουσα ρύθμιση

Συμπληρωματικά μπορεί να ενεργοποιηθεί (μέσω π.χ. μιας κεντρικής διάταξης ελέγχου σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα) ο μηχανισμός αλλαγής στροφών του ρυθμιστή. Μετριέται δηλαδή το σφάλμα συχνότητας του συστήματος μετά την πρωτεύουσα ρύθμιση, καθώς και οι τυχόν διαφορές στη διακινούμενη ισχύ των εξωτερικών διασυνδέσεων, και με μια κατάλληλη στρατηγική ελέγχου αποστέλλονται σήματα που αντιστοιχούν σε μια νέα ταχύτητα αναφοράς κάθε γεννήτριας. Σημειώνεται ότι η δευτερεύουσα ρύθμιση μπορεί να γίνει και χειροκίνητα χωρίς κεντρικό έλεγχο.

2.5. Συστήματα Διεγέρσεως και Ρυθμιστές Τάσεως (AVR)

Ο αυτόματος ρυθμιστής τάσεως μια γεννήτριας αναλαμβάνει να διατηρεί κατά το δυνατόν σταθερή την τάση στους τερματικούς ζυγούς της μεταβάλλοντας κατάλληλα την τάση του πεδίου διεγέρσεως. Η τελευταία τάση παρέχεται στο τύλιγμα πεδίου από το σύστημα διεγέρσεως της σύγχρονης μηχανής.

Η τάση είναι μέγεθος πιο ευαίσθητο στις μεταβολές του φορτίου από τη συχνότητα, αλλά και η απόκλιση της από την κανονική τιμή λιγότερο κρίσιμη για τη λειτουργία του συστήματος, από την απόκλιση της συχνότητας. Γι' αυτό, και οι ανοχές στη ρύθμιση, όπως και στη διακύμανση της τάσεως είναι πολύ

μεγαλύτερες. Ενώ η συχνότητα ρυθμίζεται με ακρίβεια, π.χ. 0.03%, τα όρια της ακρίβειας για τις τάσεις των ζυγών είναι της τάξεως του $\pm 1\%$. Επίσης, ενώ η συχνότητα επαναφέρεται στην κανονική τιμή της με τη δευτερεύουσα ρύθμιση, στην περίπτωση της τάσεως είναι ανεκτά μόνιμα σφάλματα και συνεπώς δεν απαιτείται δευτερεύουσα ρύθμιση.

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

3.1. Γενικά

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 η χρήση αξονικών γεννητριών σε συνδυασμό με δίχρονης κύριες νηζελομηχανές αποτέλεσε την πιο συνηθισμένη πρακτική για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία.

Την περίοδο εκείνη, οι περισσότερες νηζελογεννήτριες ήταν ανίκανες να λειτουργήσουν με βαρύ πετρέλαιο. Ακόμα όμως και εκείνες που έκαιγαν βαρύ πετρέλαιο ήταν οικονομικά ασύμφωρες, γιατί η τιμή του πετρελαίου τότε ήταν πολύ υψηλότερη από ότι είναι σήμερα. Για τους παραπάνω λοιπόν λόγους η χρήση των αξονικών γεννητριών ήταν συνώνυμο της οικονομικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.[11]

Η εταιρεία MAN B&W Diesel κατηγοριοποιεί τις αξονικές γεννήτριες σε 3 βασικές κατηγορίες :

1) PTO/GCR (Power Take Off / Gear Constant Ratio)

Αποτελούνται από έναν εύκαμπτο σύνδεσμο, μειωτήρα στοφών, στρεπτικά άκαμπτους συνδέσμους και εναλλακτήρα.

2) PTO/RCF (Power Take Off / Renk Constant Frequency)

Αποτελούνται από ένα εύκαμπτο σύνδεσμο, μειωτήρα στοφών, στρεπτικά άκαμπτους συνδέσμους, γρανάζωμα τύπου RCF και εναλλακτήρα.

3) PTO/CFE (Power Take Off / Constant Frequency Electrical)

Αποτελούνται από ένα εύκαμπτο σύνδεσμο, μειωτήρα στοφών, στρεπτικά άκαμπτους συνδέσμους, μειωτήρα και συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου αργόστροφο εναλλακτήρα και συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου.

Είναι βασικό να αναφερθεί, ότι οι αξονικές γεννήτριες τύπου PTO/RCF και PTO/CFE μπορούν να παρέχουν ρεύμα σταθερής συχνότητας στο πλοίο ανεξαρτήτως των στροφών λειτουργίας τη κύριας μηχανής, σε αντίθεση με τις αξονικές γεννήτριες τύπου PTO/GCR.

Οι αξονικές γεννήτριες και των τριών παραπάνω κατηγοριών μπορούν να εγκατασταθούν πρόωραθεν, πρύμνηθεν ή ακόμα και στο πλάι της κύριας μηχανής.

3.2. Πλεονεκτήματα Αξονικών Γεννητριών

1) Καταλαμβάνουν μικρό όγκο στο μηχανοστάσιο

Οι αξονικές γεννήτριες τοποθετούνται κοντά στην κύρια μηχανή ή στον ελικοφόρο άξονα χωρίς να έχουν την απαίτηση ύπαρξης δευτερευόντων μηχανημάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι γεννήτριες τύπου PTO BW III και PTO BW IV απαιτούν ελάχιστο χώρο, ενώ οι γεννήτριες τύπου SMG/CFE και DMG/CFE απαιτούν πρόσθετο χώρο στο μηχανοστάσιο για την τοποθέτηση των σύγχρονων μηχανών και των δωματίων ελέγχου.

2) Χαμηλό κόστος επένδυσης (PTO/GCR)

Το κόστος επένδυσης, εξαρτάται από τον τύπο και την ποιότητα κατασκευής της αξονικής γεννήτριας. Για παράδειγμα, οι αξονικές γεννήτριες τύπου PTO/GCR είναι αρκετά φτηνές, ενώ οι αξονικές γεννήτριες με ρυθμιζόμενη συχνότητα τύπου PTO/RCF και PTO/CFE είναι αρκετά ακριβότερες.

3) Χαμηλό κόστος εγκατάστασης

Οι αξονικές γεννήτριες, δεν απαιτούν ιδιαίτερα περίπλοκα συστήματα έδρασης, ούτε συστήματα εξαγωγής καυσαερίων, παρά μόνο μερικές συνδέσεις-υποδοχές- για τα διάφορα βοηθητικά μηχανήματα. Ακόμα, ο χρόνος εγκατάστασης μίας αξονικής γεννήτριας είναι αρκετά μικρότερος σε σύγκριση με μία ντηζελογεννήτρια.

4) Υψηλή αξιοπιστία

Οι αξονικές γεννήτριες, λόγω των λίγων απαρτιζόμενων μηχανικών εξαρτημάτων έχουν βαθμό αξιοπιστίας σχεδόν ίδιο με εκείνο των κυρίων μηχανών που τις κινούν.

5) Χαμηλό κόστος συντήρησης

Το κόστος συντήρησης των αξονικών γεννητριών είναι ιδιαίτερα χαμηλό. Ενδεικτικά, αναφέρουμε ότι κατά το αρχικό χρονικό διάστημα της λειτουργίας μίας αξονικής γεννήτριας, το μόνο που χρειάζεται η ίδια από πλευράς συντήρησης, είναι η τακτική επιθεώρηση της στάθμης του ελαίου λίπανσης, καθώς και η αντικατάστασή του –όπως και του φίλτρου λαδιού- όποτε αυτό κριθεί σκόπιμο.

6) Χαμηλό κόστος ανταλλακτικών

Η υψηλή αξιοπιστία των αξονικών γεννητριών σε συνάρτηση με τον μικρό αριθμό ανταλλακτικών που η ίδια απαιτεί, συνεπάγονται ιδιαίτερα χαμηλό κόστος συντήρησης.

7) Μεγάλη διάρκεια ζωής

Γενικά, οι αξονικές γεννήτριες δεν υπόκεινται σε μεγάλη φθορά. Άλλα ακόμα και τα μηχανικά εξαρτήματα τα οποία χρήζουν αντικατάστασης όπως για παράδειγμα ρουλεμάν, μηχανοκίνητες αντλίες λαδιού, σύνδεσμοι τριβής, κ.τ.λ. έχουν ιδιαίτερα μεγάλη διάρκεια ζωής.

8) Χαμηλά επίπεδα θορύβου

Τα επίπεδα θορύβου των αξονικών γεννητριών είναι αρκετά χαμηλότερα από εκείνα των υπόλοιπων γεννητριών.

3.3. Μειονεκτήματα Αξονικών Γεννητριών**1) Δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια όταν τα πλοία είναι εν όρμω**

Στις περιπτώσεις αυτές, τα πλοία καλύπτουν τις απαιτήσεις τους για ηλεκτρική ενέργεια μέσω συμβατικών γεννητριών. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις όπου οι απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια είναι ιδιαίτερα μεγάλες –όπως για παράδειγμα στα μεγάλα δεξαμενόπλοια – τότε είναι δυνατή η χρήση της κύριας μηχανής του σκάφους σε συνδυασμό με τη αξονική γεννήτρια για την λειτουργία των αντλιών άντλησης του πετρελαίου του πλοίου από τις δεξαμενές του (έχοντας αποσυμπλέξει την έλικα).

2) Επιπλέον φόρτιση της κύριας μηχανής

Όταν μία αξονική γεννήτρια συνδέεται στο ελικοφόρο άξονα μίας μηχανής, τότε αυξάνεται το φορτίο της και κατ' επέκταση αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου και η κατανάλωση σε λιπαντικό έλαιο.

3) Μειωμένη απόδοση της κύριας μηχανής και της έλικας του πλοίου για τις αξονικές γεννήτριες τύπου PTO/GCR

Επειδή θέλουμε η παραγόμενη συχνότητα από την αξονική γεννήτρια να είναι σταθερή, κατά τη χρήση των αξονικών γεννητριών τύπου PTO/GCR, η έλικα μεταβλητού βήματος πρέπει να περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα, ακόμα και σε μειωμένο φορτίο.

4) Αδυναμία παράλληλης σύνδεσης των αξονικών γεννητριών τύπου PTO/GCR με συμβατικές γεννήτριες.

Οι αξονικές γεννήτριες τύπου PTO/GCR, δεν μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα με συμβατικές γεννήτριες. Αυτό μπορεί να συμβεί μόνο όταν η απαίτηση για φορτίο υπερβαίνει τις δυνατότητες των συμβατικών γεννητριών, οπότε η αξονική γεννήτρια αναλαμβάνει να παράγει το επιπλέον απαιτούμενο φορτίο.

5) Πολυπλοκότερη διάταξη αξονικού συστήματος

Η εγκατάσταση μίας αξονικής γεννήτριας σε ένα πλοίο συνεπάγεται την ύπαρξη διατάξεων σύμπλεξης της ίδιας με τον ελικοφόρο άξονα του πλοίου, κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας του αξονικού συστήματος.

4. ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία είναι χωρισμένη σε τέσσερα κεφάλαια καθώς επίσης περιέχει και ένα παράρτημα.

Στο Κεφάλαιο 1, το οποίο είναι και το παρόν κεφάλαιο, γίνεται μια συνοπτική εισαγωγή στην εργασία με μια σύντομη παρουσίαση των διαφόρων ηλεκτροπαραγωγών συστημάτων καθώς και των υποσυστημάτων αυτών όπως επίσης παρουσιάζονται και τα συστήματα των αξονικών γεννητριών.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας του επιμερισμού φορτίου μεταξύ των γεννητριών, πρώτα για την ενεργό ισχύ και εν συνεχεία για την άεργο ισχύ. Επίσης περιλαμβάνονται και τα κριτήρια επιμερισμού του φορτίου σύμφωνα με τους κανονισμούς των νηογνομώνων.

Στο Κεφάλαιο 3 το πρόβλημα επιμερισμού του φορτίου αναλύεται σε μαθηματικό σύστημα, όπου παρουσιάζονται οι μαθηματικές εξισώσεις για τον επιμερισμό ενεργού και άεργου φορτίου μεταξύ των γεννητριών τόσο στην πρωτεύουσα (1ουσα) όσο και στην δευτερεύουσα (2ουσα) ρύθμιση, και γίνεται επίλυση του συστήματος με εφαρμογή της μεθόδου Newton-Raphson.

Στο Κεφάλαιο 4 παρατίθενται τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε με εφαρμογή των υπολογισθέντων εξισώσεων στο υπολογιστικό σύστημα EXCEL για διάφορους συνδυασμούς γεννητριών και ρυθμίσεων αυτών, όπως επίσης και κάποια συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε μετά από παρατήρηση των αποτελεσμάτων.

Τέλος, στο Παράρτημα παρουσιάζονται οι οδηγίες χρήσεως των προγραμμάτων που αναπτύχθηκαν στο «EXCEL» καθώς και περιγραφή των αρχείων που συνοδεύουν αυτή τη διπλωματική εργασία.

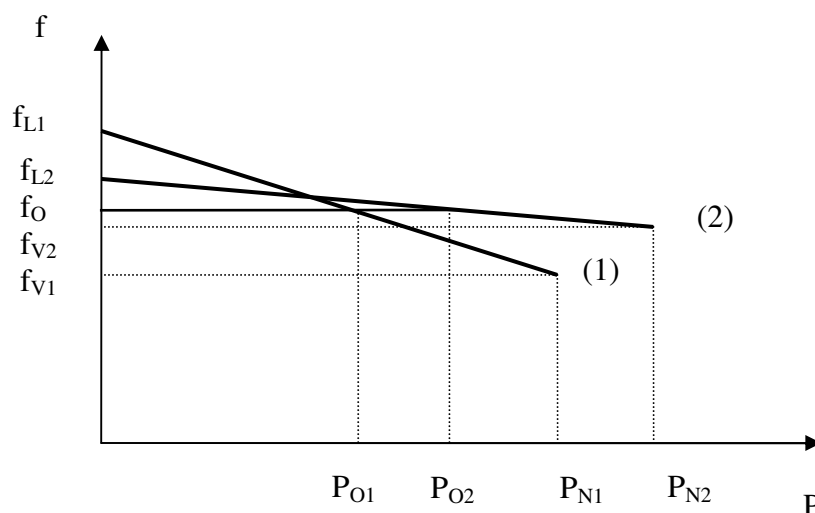
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΓΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

1. ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥ

1.1. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Είναι γνωστό ότι η κατανομή των ενεργών φορτίων μεταξύ γεννητριών Ε.Ρ. που εργάζονται παράλληλα γίνεται με βάση τους βαθμούς αναλογίας-στατισμούς (Frequency droop) των κανόνων f-P που ακολουθεί το ζεύγος Κινητήρια Μηχανή – Γεννήτρια. [7]



Σχήμα 1

Για παράδειγμα εάν η συνολική ζήτηση είναι P_0 τότε οι επιμέρους φορτίσεις των δύο γεννητριών P_{O1} , P_{O2} καθώς κι η κοινή συχνότητα λειτουργίας f_0 προκύπτει από την επίλυση του συστήματος των γραμμικών εξισώσεων :

$$\text{Γεννήτρια 1 : } f = f_{L1} - x_{P1} \cdot \frac{P_{O1}}{P_{N1}} \cdot f_{N1} \quad (1)$$

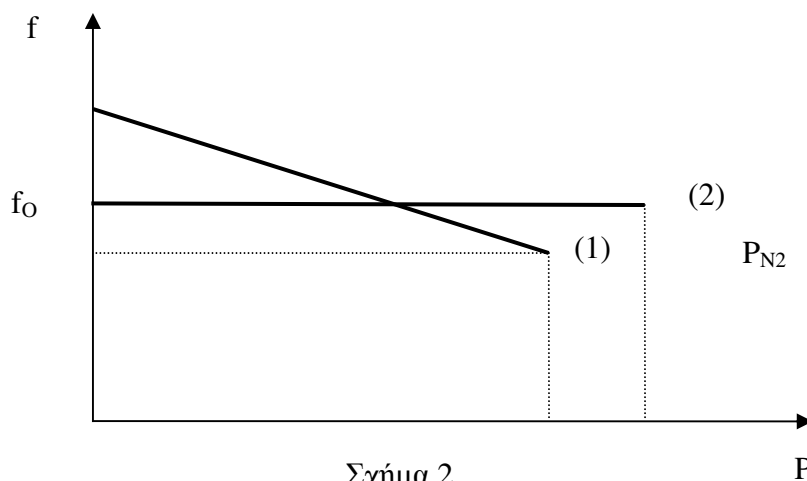
$$\text{Γεννήτρια 2 : } f = f_{L2} - x_{P2} \cdot \frac{P_{O2}}{P_{N2}} \cdot f_{N2} \quad (2)$$

$$P_{O1} + P_{O2} = P_0 \quad (3)$$

Σημειώνεται ότι οι βαθμοί αναλογίας (στατισμοί) δίνονται από τις σχέσεις:

$$x_{P1} = \frac{f_{L1} - f_{V1}}{f_{N1}} \quad x_{P2} = \frac{f_{L2} - f_{V2}}{f_{N2}} \quad (4)$$

Στην ειδική περίπτωση που η μια γεννήτρια είναι πολύ μεγαλύτερη από την άλλη (άπειρος ζυγός) και η κλίση της χαρακτηριστικής της F-P είναι σχεδόν οριζόντια, τότε :



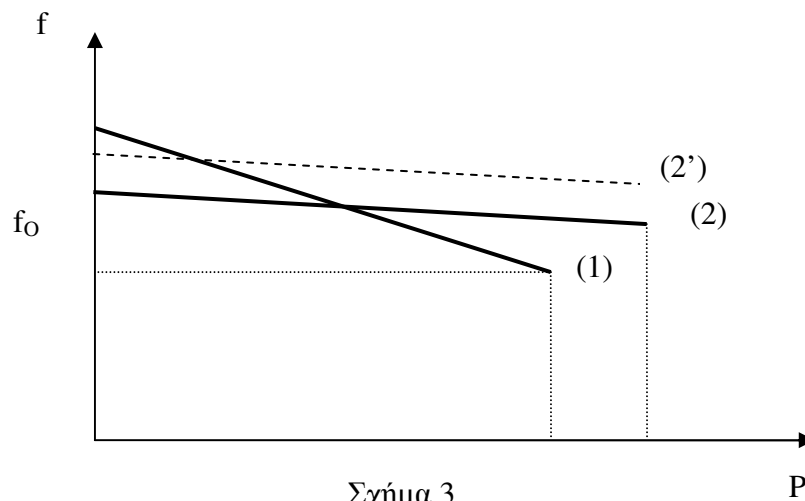
Σχήμα 2

Η γεννήτρια με το μηδενικό στατισμό «κλειδώνει» (διατηρεί σταθερή) τη συχνότητα λειτουργίας του συστήματος αναλαμβάνοντας να καλύπτει και όλες τις διακυμάνσεις του ενεργού φορτίου. Η άλλη γεννήτρια (η γεννήτρια (1) στο Σχ. 2). Εργάζεται στην συχνότητα που καθορίζει η γεννήτρια μηδενικού στατισμού και «συμφέρει» να λειτουργεί κοντά στο ονομαστικό της φορτίο, όπου έχει και το βέλτιστο βαθμό αποδόσεως. Με αυτή τη λογική, η γεννήτρια (2) καλείται «ρυθμίζουσα μονάδα» ενώ η γεννήτρια (1) «γεννήτρια βάσεως». Σημειώνεται ότι στα συστήματα ξηράς ακόμα και αν καμιά μονάδα δεν έχει χαρακτηριστικά «ρυθμίζουσας», επιλέγεται μια να παίξει αυτό το ρόλο ενώ οι υπόλοιπες λειτουργούν ως «βάσεως» (στο μέτρο του δυνατού).

Σε μια αλλαγή των απαιτήσεων φόρτισης, οι μονάδες αναλαμβάνουν νέο επιμερισμό φορτίσεων βάσει των στατισμών τους. Το αποκαθιστώμενο σημείο ισορροπίας αποτελεί αποτέλεσμα της λεγόμενης «πρωτεύουσας ρύθμισης» ή

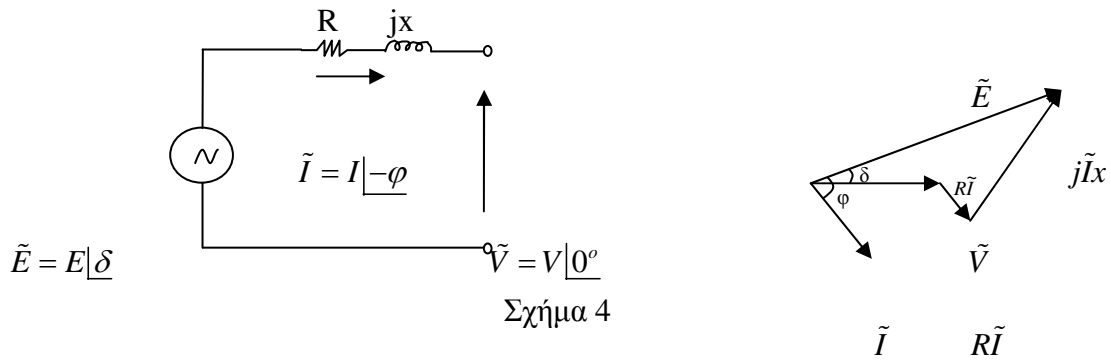
αυτορύθμισης και ουσιαστικά σημαίνει ότι εάν αυξηθεί το φορτίο η συχνότητα θα μειωθεί ενώ εάν μειώθηκε το φορτίο η συχνότητα θα αυξηθεί.

Επειδή όμως η νέα αυτή συχνότητα μπορεί να είναι εκτός των αποδεκτών ορίων, απαιτείται να γίνει η λεγόμενη «δευτερεύουσα ρύθμιση» όπου η ρυθμίζουσα μονάδων αυξάνει (ή μειώνει) την παραγωγή της ώστε να καλύψει τη συνολική ζήτηση και η συχνότητα να είναι η ονομαστική (ή τουλάχιστον αποδεκτή τιμή εντός ορίων). Αυτό γραφικά απεικονίζεται μετακινώντας τη χαρακτηριστική f - P παράλληλα προς τον εαυτό της (προς τα πάνω για αύξηση, προς τα κάτω για μείωση) και πρακτικά αυτό σημαίνει την αύξηση (ή μείωση αντίστοιχα) της έγχυσης καυσίμου στην κινητήρια μηχανή.



1.2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ P-δ ΚΑΙ Q-V

Το μονοφασικό ισοδύναμο μοντέλο μιας 3φ σύγχρονης μηχανής είναι το εξής :



Οι σχέσεις που ενδιαφέρουν έχουν ως εξής :

$$\tilde{E} = \tilde{I} \cdot (R + jX) + \tilde{V} \Rightarrow \tilde{I} = \frac{\tilde{E} - \tilde{V}}{R + jX} \tag{5}$$

Για 1-φάση $\tilde{S} = \tilde{V} \cdot \tilde{I}$ (6)

Θεωρώντας ως διάνυσμα αναφοράς το διάνυσμα της τάσεως εξόδου ($\tilde{V} = V \circ$) (που είναι μάλιστα κοινή για όλο το δίκτυο) προκύπτει ότι :

$$\begin{aligned} \tilde{I} = I \angle -\phi &= I \cos \phi + jI \sin \phi \Rightarrow I \cos \phi - jI \sin \phi = \frac{E \cos \delta + jE \sin \delta - V}{R + jX} \cdot \frac{R - jX}{R - jX} \Rightarrow \\ \tilde{E} = E \angle \delta &= E \cos \delta + jE \sin \delta \end{aligned}$$

$$I \cos \phi - jI \sin \phi = \frac{[(E \cos \delta - V)R + X \cdot E \sin \delta] + j[E \cdot R \cdot \sin \delta - X \cdot (E \cdot \cos \delta - V)]}{R^2 + X^2}$$

Χωρίζοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη

$$I \cos \phi = \frac{1}{R^2 + X^2} [(E \cos \delta - V)R + X \cdot E \sin \delta] \tag{7}$$

$$I \sin \phi = \frac{1}{R^2 + X^2} [-E \cdot R \cdot \sin \delta + X(E \cdot \cos \delta - V)] \tag{8}$$

η φαινόμενη ισχύς \tilde{S} που αποδίδει η γεννήτρια στην έξοδο της είναι :

$$\tilde{S} = \tilde{V} \cdot \tilde{I} = V \underline{0^\circ} \cdot I \underline{\phi} = V \cdot I \cdot \cos \phi + j \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi \equiv P + jQ \quad (9)$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (10)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (11)$$

Συνδυάζοντας τις (7), (8) με (10) και (11) αντικαθιστώνται τα $I \cos \phi$ και $I \sin \phi$

$$P = \frac{V}{R^2 + X^2} [(E \cdot \cos \delta - V) + X \cdot E \cdot \sin \delta] \quad (12)$$

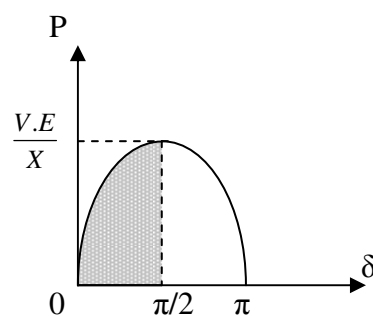
$$Q = \frac{V}{R^2 + X^2} [(E \cdot \cos \delta - V)X - R \cdot E \cdot \sin \delta] \quad (13)$$

Επειδή συνήθως $R \ll X$ οι (12) και (13) προσεγγίζονται αγνοώντας το R :

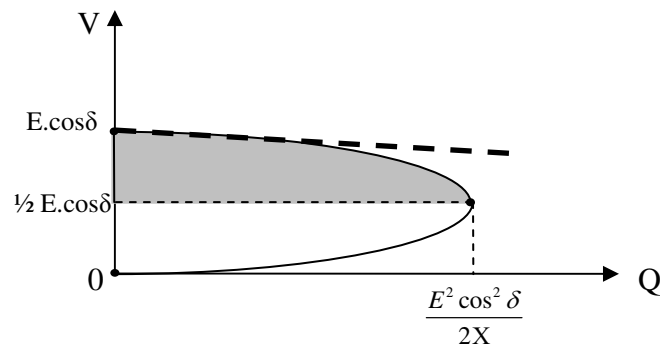
$$P \approx \frac{V \cdot E}{X} \cdot \sin \delta \quad (14)$$

$$Q \approx \frac{V}{X} (E \cos \delta - V) \quad (15)$$

Οι (12)-(13) (ή οι (14) (15) που χρησιμοποιούνται συνήθως) συνιστούν τους κανόνες P- δ και Q-V αντίστοιχα.



Σχήμα 5



Σχήμα 6

Διαγραμματισμένες οι περιοχές στατικής ευστάθειας δηλ. Πρέπει

$$\delta \leq \frac{\pi}{2} \quad \& \quad P \leq \frac{V \cdot E}{x} \quad (16)$$

$$\frac{1}{2} \cdot E \cdot \cos \delta \leq V \leq E \cdot \cos \delta \quad \& \quad Q \leq \frac{1}{2x} \cdot E^2 \cdot \cos^2 \delta \quad (17)$$

Σημειώνεται ότι οι περιοχές μεταβατικής ευστάθειας είναι σαφώς πιο περιορισμένες στο ~40% των τιμών που αναγράφονται στις (16) και (17) (όρια στατικής ευστάθειας).

Σημείωση:

- Η στατική ευστάθεια αναφέρεται σε εξαιρετικά αργές μεταβολές και ουσιαστικά θέτει τα ανώτερα δυνατά όρια τιμών των σημείων λειτουργίας του Συστήματος στα οποία λειτουργεί απρόσκοπτα.
- Η δυναμική ευστάθεια αναφέρεται σε σχετικά γρήγορες μεταβολές (~100 /300 ms) στα χρονικά αυτά διαστήματα – κι αυτό είναι το κρίσιμο-προλαβαίνει να λειτουργήσει ο ρυθμιστής τάσης. – όχι όμως κι ο ρυθμιστής συχνότητας ακόμη κι αν πρόκειται για νηζελογεννήτρια- και γι αυτό επιβάλλεται να λαμβάνεται υπόψη στις μελέτες.

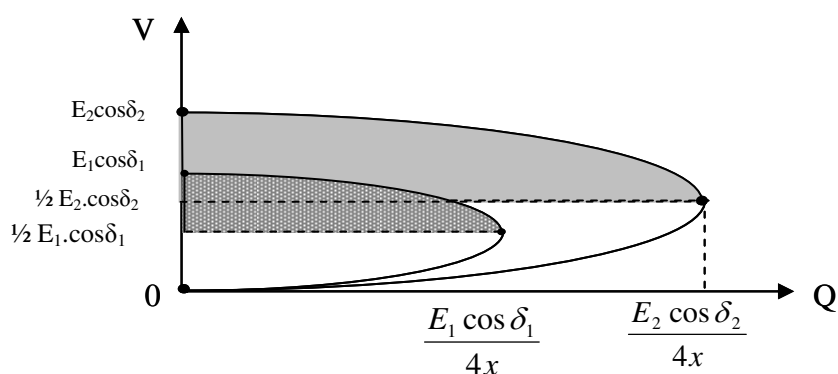
- Η μεταβατική ευστάθεια που αναφέρεται σε ταχέα μεταβατικά φαινόμενα (π.χ. απότομη βραχυκύκλωση, ανοιγοκλείσιμο διακοπών). Στη περίπτωση αυτή δεν συμμετέχουν οι AVR αλλά τονίζεται ότι τα όρια ευσταθούς λειτουργίας είναι σαφώς μικρότερα από τα αντίστοιχα της στατικής ευστάθειας.

2. ΑΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥ

2.1. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΕΡΓΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Η διαδικασία κατανομής των αεργων φορτίων είναι παρόμοια με αυτή των ενεργών αλλά όχι πανομοιότυπη. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ F-P και V-Q, είναι ότι ο V-Q είναι μη γραμμικός αλλά καμπύλος (2βάθμια εξίσωση). [7]

Βέβαια όσο μεγαλύτερο είναι το E τόσο η καμπύλη αποκτά γραμμικό χαρακτήρα για συγκεκριμένα τμήματα :



Σχήμα 7

Το μεγαλύτερο E επιτυγχάνεται υπερδιεγείροντας τη γεννήτρια (στο τύλιγμα διέγερσης περνά μεγάλο ρεύμα πεδίου που ενισχύει την ΗΕΔ E).

- Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι επειδή ο AVR δρα πολύ γρηγορότερα από το governor –μία τάξη μεγέθους τουλάχιστον- ο κανόνας P-δ “βλέπει» το E σταθερό όταν ρυθμίζει την ενεργή φόρτιση δεν ισχύει όμως το αντίστοιχο για τον Q-V που «βλέπει» το $\cos\delta$ να μεταβάλλεται (βέβαια το $\cos\delta$ είναι σχετικά απευαίσθητο για τις τιμές $0 < \delta < 40^\circ$ που συνήθως λειτουργεί μια γεννήτρια).
- Από τις σχέσεις (13) ή (15) εύκολα συνάγεται ότι λόγω της μορφής της σχέσεως V-Q (δεν είναι γραμμική) ο αντίστοιχος στατισμός τάσεως

(voltage droop) δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από το σημείο λειτουργίας. Εάν οριστεί ως εξής :

$$x_Q = \frac{\partial V}{\partial Q} = \frac{1}{\frac{\partial Q}{\partial V}} \quad (16)$$

τότε από τη μεν ακριβή (13) προκύπτει :

$$x_Q^{-1} = \frac{1}{R^2 + X^2} [(E \cos \delta - V) - R \cdot E \cdot \sin \delta] + \frac{V}{R^2 + X^2} (-X)$$

$$x_Q^{-1} = \frac{1}{R^2 + X^2} [(E \cos \delta - V) - R \cdot E \cdot \sin \delta] + \frac{V}{R^2 + X^2} (-X) \quad (17)$$

από δε την προσεγγιστική (15) προκύπτει :

$$x_Q^{-1} = \frac{1}{X} (E \cos \delta - V) - \frac{V}{X} \Rightarrow x_Q^{-1} = \frac{E \cos \delta - 2V}{X} \text{ ή } x_Q = \frac{X}{E \cos \delta - 2V} \quad (18)$$

Σαν αντιπροσωπευτική τιμή μπορεί να τεθεί κι η κλίση μεταξύ των ορίων της ευσταθούς περιοχής :

$$\hat{x}_Q \cong \frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{E \cos \delta - \frac{1}{2} E \cos \delta}{0 - \frac{1}{4} E^2 \cos^2 \frac{\delta}{X}} = -\frac{\frac{1}{2} E \cos \delta}{\frac{1}{4} E^2 \cos^2 \frac{\delta}{X}} \Rightarrow \hat{x}_Q = -\frac{2X}{E \cos \delta} \quad (19)$$

Όπως προκύπτει από την (17) ή την (18) ο στατισμός τάσης x_Q εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους :

- R: ωμική αντίσταση τυλίγματος επαγωγίμου (μεταβάλλεται ελαφρά με τη θερμική φόρτιση)
- X: σύγχρονη αντίδραση γεννήτριας (σταθερή εκτός περιπτώσεων βραχυκυκλωμάτων)

- V: τάση δικτύου (είναι επιθυμητό να διατηρείται κατά το δυνατόν σταθερή ως αποτέλεσμα των ρυθμίσεων στο μηχανισμό V-Q)
- E: ΗΕΔ γεννήτρια (ρυθμίζεται από επέμβαση του AVR στο κύκλωμα διέγερσης)
- δ: γωνία ισχύος που απεικονίζει κυρίως την ενεργό φόρτιση P της γεννήτριας (ρυθμίζεται από επέμβαση του governor στο μηχανισμό f-P)

Οι ρυθμιζόμενοι «βαθμοί ελευθερίας» είναι προφανώς οι E και S όπου :

- E: ταχύτατη ρύθμιση (100-200ms) από AVR
- δ: σχετικά αργή ρύθμιση (1000-2000ms για diesel) από governor

Συνεπώς σε αλλαγές των φορτίσεων (ενεργών και άεργων)

- ο AVR αντιλαμβάνεται (λόγω της μεταβολής της φόρτισης) αλλαγή στο μέτρο της τάσεως V κι επεμβαίνει «ταχύτατα», ρυθμίζοντας την ΗΕΔ E και συνεπώς και το Q.
- ο governor αντιλαμβάνεται αλλαγή στη συχνότητα f κι επεμβαίνει «σχετικά αργά» ρυθμίζοντας μέσω του καυσίμου την ενεργό ισχύ P. Η ρύθμιση αυτή ρυθμίζει τη γωνία δ (π.χ. από την (14) $\delta = \sin^{-1} \frac{P \cdot x}{V \cdot E}$). Η μεταβολή αυτή της γωνίας δ όμως αντανακλάται και στο μηχανισμό Q-V, αλλοιώνοντας την ταχύτατη ρύθμιση του AVR (το voltage droop x_Q εξαρτάται κι από το E αλλά και το $\cos\delta$) και ουσιαστικά απαιτώντας νέα (δευτερεύουσα) ρύθμιση για την άεργο ισχύ.

2.2. ΑΞΟΝΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΜΕ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΠΥΚΝΩΤΗ

Στην ειδική αυτή περίπτωση ισχύει ότι:

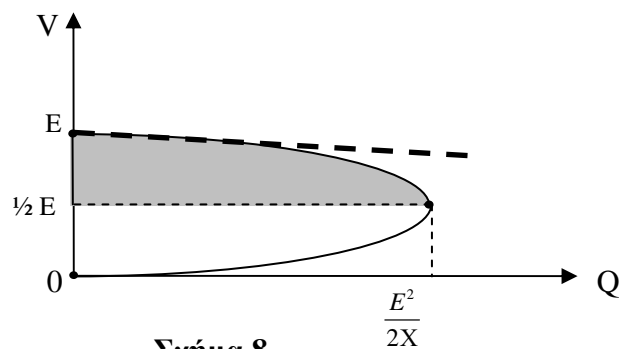
- η ενεργός ισχύς παράγεται από την αξονική γεννήτρια μέσω του συνδέσμου ΣΡ (DC link)
- η άεργος ισχύς παράγεται από το σύγχρονο πυκνωτή, σύγχρονη μηχανή που στρέφεται χωρίς φορτία με σχεδόν μηδενικό συντελεστή ισχύος κι απλά απορροφά λίγη ενεργό ισχύ που καλύπτει τις απώλειες Joule στις ωμικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων του.

$$P \approx 0 \Rightarrow \sin \delta \cong 0 \Rightarrow \delta \approx 0 \quad (20)$$

$$\Rightarrow Q = \frac{V}{X} (E \cos \delta - V) \Rightarrow Q = \frac{V \cdot (E - V)}{X} = \frac{E \cdot V - V^2}{X} \quad (21)$$

Όπως συνάγεται εύκολα από την (21) :

- η καμπύλη Q-V έχει μεγαλύτερο μέγιστο και ως προς Q και ως προς V, καθώς $\cos \delta = 1$



Σχήμα 8

- καθώς η Q-V, βλ. Σχέση (21), είναι ανεξάρτητη του δ η άεργη φόρτιση του σύγχρονου πυκνωτή καθορίζεται ταχύτατα και μονοσήμαντα από τη ρύθμιση του AVR στην ΗΕΔ E.

- ο στατισμός τάσης, βλ. Σχέσεις (18) και (19), επειδή $\cos\delta=1$ (εκτός του ότι δεν μεταβάλλεται) είναι και κατ' απόλυτη τιμή μικρότερος, δηλ. η χαρακτηριστική V-Q είναι «πιο οριζόντια». Αυτό συνεπάγεται ότι ο σύγχρονος πυκνωτής συνιστά «ρυθμίζουσα μονάδα» διατηρώντας σταθερή την τάση V και αναλαμβάνοντας να καλύπτει τις διακυμάνσεις αέργου ισχύος.

3. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΩΝ

Για τον επιμερισμό ενεργού και αέργου φορτίου μεταξύ γεννητριών σε παραλληλισμό, τα κριτήρια παραλαβής σύμφωνα με τον RINA και τους διεθνείς νηογνώμονες, είναι τα παρακάτω:

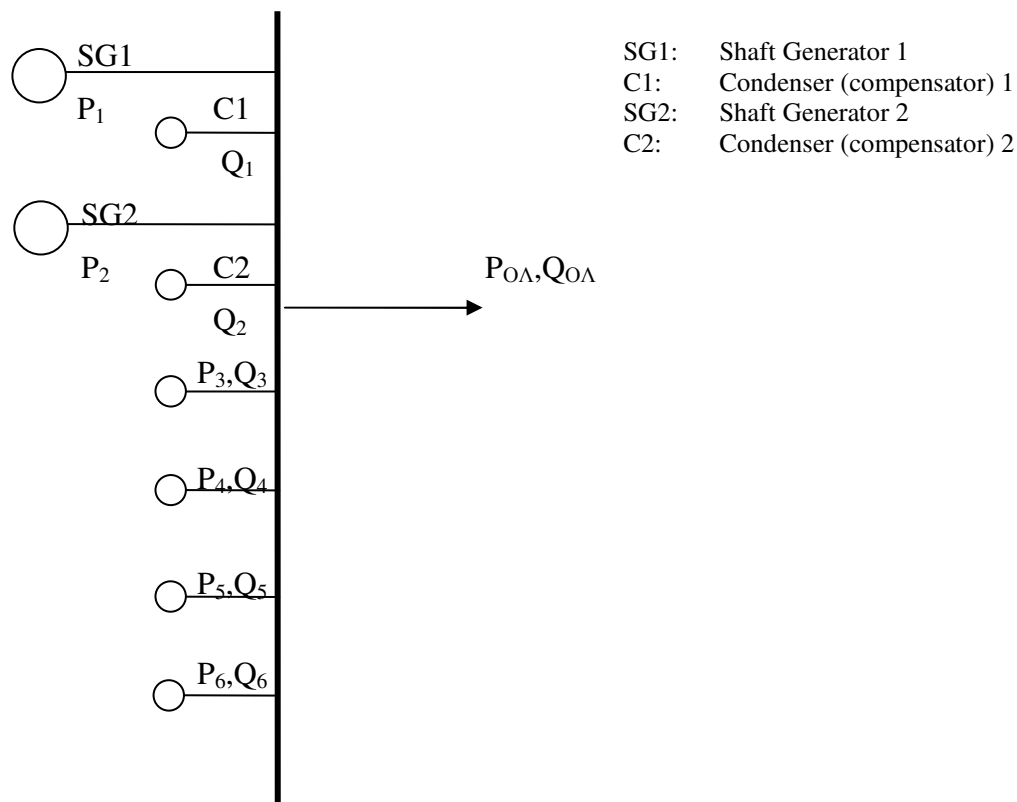
- Για φορτίο το οποίο βρίσκεται στο διάστημα 0-100% του ονομαστικού, η μεταβολή της συχνότητας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5% της ονομαστικής.
- Με σταθερό τον ονομαστικό συντελεστή ισχύος $\cos\phi$, η μέγιστη διακύμανση τάσεως για παραλαβή φορτίου μεταξύ 0-100% του ονομαστικού, δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο $\pm 2,5\%$. Επιτρέπεται η μεταβατική υπέρταση $\pm 10\%$ για χρονικό διάστημα ίσο με μια θεμελίωση ημιπερίοδο (8,33ms στα 60Hz, 10ms στα 50Hz).
- Το συνολικό φορτίο μεταξύ παραλληλισμένων γεννητριών, πρέπει να κατανέμεται ανάμεσα στις γεννήτριες με τέτοιο τρόπο ώστε το φορτίο κάθε γεννήτριας να μην διαφέρει από το φορτίο αναλογικής κατανομής περισσότερο από το 15% της ονομαστικής ισχύος της μεγαλύτερης γεννήτριας ή το 25% της ονομαστικής ισχύος της συγκεκριμένης γεννήτριας, όποιο είναι μικρότερο.
- Η φαινόμενη ισχύς μεταξύ παραλληλισμένων γεννητριών, πρέπει να κατανέμεται ανάμεσα στις γεννήτριες με τέτοιο τρόπο ώστε η φαινόμενη ισχύς κάθε γεννήτριας να μην διαφέρει από τη φαινόμενη ισχύ αναλογικής κατανομής περισσότερο από το 5% της ονομαστικής φαινόμενης ισχύος της μεγαλύτερης γεννήτριας, όταν αυτή λειτουργεί με συντελεστή ισχύος $\cos\phi=0,8$.

Ο μόνος περιορισμός σε χρονική διάρκεια είναι αυτός της μεταβατικής υπερ/υπότασης. Έτσι τονίζεται ότι σε κανένα κανονισμό δεν ορίζεται το χρονικό διάστημα εντός του οποίου πρέπει να επιτευχθεί η ισοκατανομή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΙΟΥΣΑΣ ΚΑΙ
ΣΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ
ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ****1. ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ**

Στο σημείο αυτό θα καταστρώσουμε σύστημα εξισώσεων του προβλήματος επιμερισμού φορτίσεων μεταξύ των γεννητριών που λειτουργούν παράλληλα. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε η ειδική περίπτωση με 4 diesel γεννήτριες και 2 αξονικές. Ωστόσο, το πρόβλημα μπορεί να είναι και γενικότερο και μπορεί να λυθεί με διαφόρους συνδυασμούς.

Σαν μέθοδο επίλυσης επιλέξαμε τη μέθοδο Newton-Raphson.



- εξισώσεις ισοζυγίου ενεργού ισχύος

$$\sum_{k=1}^6 P_k = P_{O\Lambda} \quad (1 \text{ εξίσωση})$$

$$f = f_{Lk} - x_{Pk} \cdot \frac{P_k}{P_{Nk}} \cdot f_{Nk} \quad (6 \text{ εξισώσεις}) \quad \} k = 1, 2, 3, \dots, 6 \quad (22)$$

7 εξισώσεις με 7 αγνώστους : f, P₁, P₂, ... P₆

- εξισώσεις ισοζυγίου αέργου ισχύος

$$\sum_{k=1}^6 Q_k = Q_{O\Lambda} \quad (1 \text{ εξίσωση})$$

$$Q_k = \frac{V}{x_k} \cdot (E_k \cdot \cos \delta_k - V) \quad (6 \text{ εξισώσεις}) \quad \} k = 1, 2, 3, \dots, 6 \quad (23)$$

7 εξισώσεις με 7 αγνώστους : V, Q₁, Q₂, ... Q₆

- οι γωνίες ισχύος καθορίζονται από τις ενεργές ισχείς

$$\xrightarrow{(14)} \delta_k = \sin^{-1} \left(\frac{P_k \cdot x_k}{E_k \cdot V} \right) \quad k=3,4,5,6 \quad (24)$$

ενώ ειδικά για τους στρεφόμενους πυκνωτές των αξονικών γεννητριών

$$\delta_1 = \delta_2 \approx 0 \quad (25)$$

Σημείωση:

Οι shaft generators δύνανται λόγω των ηλεκτρονικών ισχύος να παρουσιάζουν μηδενικό βαθμό αναλογίας ($x_{p1}=x_{p2}=0$), ωστόσο είναι επίσης δυνατόν να εμφανίζουν και μη μηδενικό βαθμό εφόσον γίνει κατάλληλη ρύθμιση στο κύκλωμα ελέγχου των διακοπών του αντιστροφέα.

2. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΓΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ**2.1. ΑΚΡΙΒΗΣ ΛΥΣΗ (με Μ Γεννήτριες)****2.1.1. Πρωτεύουσα ρύθμιση - Αυτορύθμιση**

$$(2.1.1. - 1) - \quad f = f_{L_k} - x_{P_k} \cdot \frac{P_k}{P_{N_k}} \cdot f_{N_k} \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

$$(2.1.1. - 2) - \quad \sum_{k=1}^M P_k = P_{O\Lambda} \quad 1 \text{ εξίσωση}$$

$$(2.1.1. - 3) - \quad \delta_k = \arcsin\left(\frac{P_k \cdot X_k}{E_k \cdot V}\right) \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

Για αξονική γεννήτρια έχουμε $\delta_k \approx 0$

$$(2.1.1. - 4) - \quad Q_k = \frac{V(E_k \cdot \cos \delta_k - V)}{X_k} \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

$$(2.1.1. - 5) - \quad \sum_{k=1}^M Q_k = Q_{O\Lambda} \quad 1 \text{ εξίσωση}$$

όπου:

f, V	συχνότητα & τάση λειτουργίας	x_{P_k}	στατισμοί των f-P
f_{N_k}	60Hz/50Hz συχνότητα	ονομαστική	P_{N_k} Ονομαστικές ισχείς ενεργές
X_k	Επαγωγικές γεννητριών	αντιδράσεις	E_k ΗΕΔ γεννητριών
δ_k	Γωνίες ισχύος γεννητριών	f_{L_k}	Συχνότητες κενού φορτίου γεννητριών

ΓΝΩΣΤΑ: $x_{P_k}, f_{L_k}, P_{N_k}, f_{N_k}, X_k, E_k, P_{O\Lambda}, Q_{O\Lambda}$

ΑΓΝΩΣΤΟΙ: f, V, Q_k, P_k, δ_k

Στην πρωτεύουσα ρύθμιση τα f_{LK} & E_K είναι σε τιμές παλαιότερης ρύθμισης. Επίσης έχει γίνει η παραδοχή στην εκτίμηση τους όπου έχουν θεωρηθεί όλα ίδια για τις όμοιες γεννήτριες.

2.1.2. Δευτερεύουσα ρύθμιση

Σε αυτήν την περίπτωση ισχύουν οι εξισώσεις (2.1.1. - 1) έως (2.1.1. - 5) λίγο διαφοροποιημένα. Συγκεκριμένα, αναζητούνται τα f_{LK} & E_K ώστε τα P_K & Q_K να ισοκατανέμονται εντός των ορίων των κανονισμών. Τα δ_k είναι άγνωστα επίσης. Τα f & V τείνουν στα ονομαστικά. Οι εξισώσεις (2.1.1. - 1) έως (2.1.1. - 5) συμπληρώνονται και από τις νόρμες ισοκατανομής.

$$(A.II.6) \quad \|\Delta P_k\| \leq E_P \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

$$(A.II.7) \quad \|\Delta Q_k\| \leq E_Q \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

Όπου

$$\|\Delta P_k\| = \|P_k - \bar{P}_k\|$$

$$\|\Delta Q_k\| = \|Q_k - \bar{Q}_k\|$$

Η διαδικασία είναι ανακυκλωτική-επαναληπτική.

Οι τιμές για τα ΔP και ΔQ ορίζονται σύμφωνα με τους κανονισμούς νηογνωμόνων (βλ. Κεφ.2-3)

2.2. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Σε αυτήν την περίπτωση και ο V-Q κανόνας θεωρείται γραμμικός και αποσυζευγμένος από τον αντίστοιχο f-P (χωρίς τα δ_K). Συγκεκριμένα:

2.2.1. Πρωτεύουσα ρύθμιση - Αυτορύθμιση

$$(2.2.1.-1) \quad f = f_{L_K} - x_{P_K} \cdot \frac{P_K}{P_{N_K}} \cdot f_{N_K} \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

$$(2.2.1.-2) \quad \sum_{k=1}^M P_K = P_{O\Lambda} \quad 1 \text{ εξίσωση}$$

$$(2.2.1.-3) \quad V = E_{L_K} - x_{Q_K} \cdot \frac{Q_K}{Q_{N_K}} \cdot V_{N_K} \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

$$(2.2.1.-4) \quad \sum_{k=1}^M Q_K = Q_{O\Lambda} \quad 1 \text{ εξίσωση}$$

Σημείωση: Τα E_{L_K} είναι οι τάσεις κενού φορτίου (HEΔ) των γεννητριών.

2.2.2. Δευτερεύουσα ρύθμιση

Επιπρόσθετα οι παραπάνω συμπληρώνονται με τις νόρμες ισοκατανομής.

$$(2.2.2.-5) \quad \|\Delta P_K\| \leq E_P \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

$$(2.2.2.-6) \quad \|\Delta Q_K\| \leq E_Q \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

Σε μητρική μορφή, οι εξισώσεις 2.2.1 γίνονται:

$$\begin{bmatrix} 1 & x_{P1} \cdot \frac{f_{N1}}{P_{N1}} & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & x_{P2} \cdot \frac{f_{N2}}{P_{N2}} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & \dots & x_{PM} \cdot \frac{f_{NM}}{P_{NM}} \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} f \\ P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{L1} \\ f_{L2} \\ \dots \\ f_{LM} \\ P_{O\Lambda} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x_{Q1} \cdot \frac{V_{N1}}{Q_{N1}} & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & x_{Q2} \cdot \frac{V_{N2}}{Q_{N2}} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & \dots & x_{QM} \cdot \frac{V_{NM}}{Q_{NM}} \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V \\ Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{K1} \\ E_{K2} \\ \dots \\ E_{KM} \\ Q_{O\Lambda} \end{bmatrix}$$

Οι νόρμες ισοκατανομής για την αναλογική φόρτιση:

$$\bar{P}_K = \frac{P_{N_K}}{\sum_{K=1}^M P_{N_K}} P_{O\Lambda} \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

$$\bar{Q}_K = \frac{Q_{N_K}}{\sum_{K=1}^M Q_{N_K}} Q_{O\Lambda} \quad \kappa=1,2,\dots,M$$

Οπότε

$$\|\Delta P_K\| = \|P_K - \bar{P}_K\|$$

$$\|\Delta Q_K\| = \|Q_K - \bar{Q}_K\|$$

Δηλαδή η απόκλιση της πραγματικής φόρτισης από την ιδανική της ισοκατανομής αναλογικά με την ονομαστική ισχύ της κάθε μιας γεννήτριας.

Ενώ οι ανοχές E_{P_K} & E_{Q_K} σχετίζονται με την ονομαστική ισχύ θεωρούμενης κ-γεννήτριας και την ονομαστική ισχύ της μέγιστης γεννήτριας που συμμετέχει στην παράλληλη λειτουργία, σύμφωνα με τα όρια ανοχής που ορίζουν οι νηογνώμονες (βλ. Κεφ.2-3).

3. ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ NEWTON – RAPHSON

3.1. Αυτορύθμιση - Ιουσα ΡΥΘΜΙΣΗ

Σύμφωνα με τα παραπάνω και με χρήση της μεθόδου Newton-Raphson, η κατάστρωση εξισώσεων της αυτορύθμισης για M γεννήτριες που λειτουργούν παράλληλα, είναι η εξής :

Εξισώσεις ισοζυγίου ενεργού ισχύος

$$f = f_{L_k} - x_{P_k} \cdot \frac{P_k}{P_{N_k}} \cdot f_{N_k} \quad \kappa=1,2,\dots,M \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^M P_k = P_{O\Lambda} \quad (2)$$

Οι σχέσεις (1) & (2) συνιστούν *γραμμικό σύστημα $(M+1) \times (M+1)$ εξισώσεων* με αγνώστους: f, P_1, P_2, \dots, P_M .

Εξισώσεις για άεργες ισχύες-τάση

$$Q_{O\Lambda} = \frac{V(E_1 \cdot \cos \delta_1 - V)}{x_1} + \frac{V(E_2 \cdot \cos \delta_2 - V)}{x_2} + \dots + \frac{V(E_M \cdot \cos \delta_M - V)}{x_M} \quad (3)$$

$$P_1 = \frac{V \cdot E_1}{x_1} \sin \delta_1$$

$$P_2 = \frac{V \cdot E_2}{x_2} \sin \delta_2 \quad (4)$$

...

$$P_M = \frac{V \cdot E_M}{x_M} \sin \delta_M$$

Οι σχέσεις (3) & (4) συνιστούν *Μη Γραμμικό σύστημα $(M+1) \times (M+1)$ εξισώσεων* με αγνώστους: $V, \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_M$

Μόλις οι άγνωστοι προσδιοριστούν τότε οι επιμέρους άεργες φορτίσεις των γεννητριών προκύπτουν ως εξής:

$$Q_1 = \frac{V(E_1 \cdot \cos \delta_1 - V)}{x_1}$$

$$Q_2 = \frac{V(E_2 \cdot \cos \delta_2 - V)}{x_2}$$

...

$$Q_M = \frac{V(E_M \cdot \cos \delta_M - V)}{x_M}$$

Λόγω του μη γραμμικού χαρακτήρα του συστήματος, αυτολύνεται μέσω της μεθόδου Newton-Raphson, όπως δείχνεται συνοπτικά στη συνέχεια.

Εάν το άγνωστο προς προσδιορισμό διάνυσμα είναι

$$y = \begin{bmatrix} V \\ \delta_1 \\ \dots \\ \delta_M \end{bmatrix}$$

$$\frac{V \cdot E_1}{x_1} \sin \delta_1 - P_1 = 0$$

$$\Leftarrow g_1(x)$$

$$\frac{V \cdot E_2}{x_2} \sin \delta_2 - P_2 = 0$$

$$\Leftarrow g_2(x)$$

...

$$\frac{V \cdot E_M}{x_M} \sin \delta_M - P_M = 0$$

$$\Leftarrow g_M(x)$$

$$\frac{V(E_1 \cdot \cos \delta_1 - V)}{x_1} + \dots + \frac{V(E_M \cdot \cos \delta_M - V)}{x_M} - Q_{OL} = 0$$

$$\Leftarrow g_{M+1}(x)$$

$$g_1: \frac{V \cdot E_1}{x_1} \sin \delta_1 - P_1 = 0$$

$$g_2: \frac{V \cdot E_2}{x_2} \sin \delta_2 - P_2 = 0$$

...

$$g_M: \frac{V \cdot E_M}{x_M} \sin \delta_M - P_M = 0$$

$$g_{M+1}: \frac{V(E_1 \cdot \cos \delta_1 - V)}{x_1} + \dots + \frac{V(E_M \cdot \cos \delta_M - V)}{x_M} - Q_{OL} = 0$$

Η αντίστοιχη ιακωβιανή μήτρα είναι $\frac{\partial g}{\partial y}$:

$$\left[\begin{array}{cccccc} \frac{\partial g_1}{\partial V} = \frac{E_1}{x_1} \sin \delta_1 & \frac{\partial g_1}{\partial \delta_1} = \frac{V \cdot E_1}{x_1} \cos \delta_1 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{\partial g_2}{\partial V} = \frac{E_2}{x_2} \sin \delta_2 & 0 & \frac{\partial g_2}{\partial \delta_2} = \frac{V \cdot E_2}{x_2} \cos \delta_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_M}{\partial V} = \frac{E_M}{x_M} \sin \delta_M & 0 & 0 & \dots & \frac{\partial g_M}{\partial \delta_M} = \frac{V \cdot E_M}{x_M} \cos \delta_M \\ \frac{\partial g_{M+1}}{\partial V} = \frac{E_1 \cdot \cos \delta_1 - 2V}{x_1} + \dots + \frac{E_M \cdot \cos \delta_M - 2V}{x_M} & \frac{\partial g_{M+1}}{\partial \delta_1} = -\frac{V \cdot E_1}{x_1} \sin \delta_1 & \frac{\partial g_{M+1}}{\partial \delta_2} = -\frac{V \cdot E_2}{x_2} \sin \delta_2 & \dots & \frac{\partial g_{M+1}}{\partial \delta_M} = -\frac{V \cdot E_M}{x_M} \sin \delta_M \end{array} \right]$$

Οπότε η λύση προκύπτει από διαδοχικές επαναληπτικές εφαρμογές του μαθηματικού τύπου:

$$y = y_0 - \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^{-1}$$

3.2. 2ουσα ΡΥΘΜΙΣΗ

Στην δευτερεύουσα ρύθμιση τα πράγματα είναι πιο εύκολα καθώς είναι προκαθορισμένες βάσει των κανονισμών των νηογνομόνων (βλ. Κεφ. 2.3), οι επιθυμητές παραγωγές-φορτίσεις των γεννητριών P_K , Q_K και ζητούμενες πλέον είναι οι ρυθμίσεις f_{LK} για τον κανόνα εγχύσεως καυσίμου καθώς και το E_K για τη διέγερση της γεννήτριας.

$$f = f_{L_k} - x_{P_k} \cdot \frac{P_k}{P_{N_k}} \cdot f_{N_k}, \quad \kappa=1,2,\dots,M. \text{ Άγνωστοι τα } f_{L_k}.$$

Ενώ:

- από P_k : $E_k \cdot \sin \delta_k = \frac{\bar{P}_k \cdot X_k}{V}, \quad \kappa=1,2,\dots,M$
- από Q_k : $E_k \cdot \cos \delta_k = \frac{\bar{Q}_k \cdot X_k + V^2}{V}, \quad \kappa=1,2,\dots,M$

Οπότε:

$$E_k = \sqrt{\left(\frac{\bar{P}_k \cdot X_k}{V}\right)^2 + \left(\frac{\bar{Q}_k \cdot X_k + V^2}{V}\right)^2}$$

$$\tan \delta_k = \frac{\bar{P}_k \cdot X_k}{\bar{Q}_k \cdot X_k + V^2}$$

όπου $\kappa=1,2,3,\dots,M$ και E_k, δ_k άγνωστοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

EXCEL

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τα προγράμματα που δημιουργήθηκαν στο υπολογιστικό σύστημα “EXCEL” στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Τα δεδομένα για τις γεννήτριες, όπως τα set-points, οι αρχικοί στατισμοί κτλ. προέκυψαν από μετρήσεις οι οποίες έγιναν σε πραγματικό σύστημα πλοίου, στο οποίο παρουσιαζόταν έντονο πρόβλημα ανισοκατανομής της φορτίσεως μεταξύ των γεννητριών σε παραλληλισμό.

Πιο συγκεκριμένα το ηλεκτροπαραγωγό σύστημα του πλοίου στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις περιελάμβανε 6 ηλεκτρογεννήτριες από τις οποίες οι 2 ήταν γεννήτριες άξονα (αξονικές) και οι άλλες 4 ήταν συμβατικές γεννήτριες Diesel (βλ. σχ. Κεφ.3-1).

Από τις μετρήσεις που λήφθηκαν, παρατηρήθηκε πρόβλημα στην ρύθμιση των στατισμών των γεννητριών, οι οποίοι είχαν έντονες αποκλίσεις μεταξύ τους και απείχαν σε πολύ σημαντικό βαθμό από τους αντίστοιχους επιθυμητούς θεωρητικούς στατισμούς της τάξεως του 3%.

2. ΑΡΧΕΙΟ « program 1 (case 1 – Real Conditions).xls »

2.1. ΦΥΛΛΟ “(P) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό ισχύ, 4+2 γεννητριών σε παραλληλισμό.

Οι στατισμοί x_p εδώ είναι πολύ άσχημα ρυθμισμένοι μιας και οι τιμές τους προέκυψαν από πραγματικές τιμές μετρήσεων που έγιναν στα πλαίσια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 1000$ kW

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	0,022
x_{p2}	0,02678
x_{p3}	0,02101
x_{p4}	0,02193
x_{p5}	0,0258
x_{p6}	0,0294

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	60,564	Hz
fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	65,470	kW
fL3	60,67	Hz	<i>P2</i>	491,875	kW
fL4	60,96	Hz	<i>P3</i>	65,004	kW
fL5	60,53	Hz	<i>P4</i>	231,984	kW
fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	-16,703	kW
Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	162,370	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

F	60	Hz	<i>fL1</i>	60,260	Hz
P1	196,85	kW	<i>fL2</i>	60,316	Hz
P2	151,57	kW	<i>fL3</i>	60,248	Hz
P3	151,57	kW	<i>fL4</i>	60,259	Hz
P4	151,57	kW	<i>fL5</i>	60,305	Hz
P5	151,57	kW	<i>fL6</i>	60,347	Hz
P6	196,85	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Λόγω των τόσο ανόμοιων στατισμών x_p δημιουργείται έντονη ανισοκατανομή στις ισχύς και ενίοτε και αρνητική ισχύς.

Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο φορτίο το παραλαμβάνει η Diesel γεννήτρια #2 ενώ η αξονική γεννήτρια #6 απορροφάει ισχύ. Με σωστή κατανομή της φόρτισης, τα μεγαλύτερα φορτία έπρεπε να παραλαμβάνονται από τις αξονικές γεννήτριες όπως επίσης και τα φορτία να είναι μοιρασμένα ομοιόμορφα μεταξύ των γεννητριών, όπως φαίνεται στα επιθυμητά όρια που ορίζουμε στο πρώτο μέρος του πίνακα δευτερεύουσας ρύθμισης.

2.2. ΦΥΛΛΟ “ΔΟΚΙΜΕΣ” – (4 Diesel +2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο γίνονται επαναληπτικές δοκιμές για την σταθεροποίηση της συχνότητας του συστήματος μας και του σωστού καταμερισμού του φορτίου μας συμμετρικά στις γεννήτριες μας. Έχουμε θεωρήσει ακρίβεια μετρητικών οργάνων στο 1 δεκαδικό για τις ισχύς και στο 2 δεκαδικό για τη συχνότητα.

Πρόκειται για πρακτικό πρόβλημα καθώς τα ποτενσιόμετρα ελέγχου δεν μπορούν να επιτύχουν ρυθμίσεις άπειρης ακρίβειας. Έτσι η δευτερεύουσα ρύθμιση γίνεται σε πολλά επαναληπτικά βήματα μέχρις ότου να ικανοποιηθούν τα όρια των κανονισμών.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- 1^ο Σετ Ρυθμίσεων

Αυτορύθμιση	fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	60,564	Hz
	fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	65,470	kW
	fL3	60,67	Hz	<i>P2</i>	491,875	kW
	fL4	60,96	Hz	<i>P3</i>	65,004	kW
	fL5	60,53	Hz	<i>P4</i>	231,984	kW
	fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	-16,703	kW
	Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	162,370	kW

Υπολογιζόμενη Δευτερεύουσα Ρύθμιση	F	60,0	Hz	<i>fL1</i>	60,260	Hz
	P1	196,9	kW	<i>fL2</i>	60,316	Hz
	P2	151,6	kW	<i>fL3</i>	60,248	Hz
	P3	151,6	kW	<i>fL4</i>	60,259	Hz
	P4	151,6	kW	<i>fL5</i>	60,305	Hz
	P5	151,6	kW	<i>fL6</i>	60,347	Hz
	P6	196,9	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

- 2^ο Σετ Ρυθμίσεων

Πραγματοποιούμενη 2ουσα ρύθμιση	fL1	60,3	Hz	<i>f</i>	59,997	Hz
	fL2	60,3	Hz	<i>P1</i>	229,861	kW
	fL3	60,2	Hz	<i>P2</i>	145,401	kW
	fL4	60,3	Hz	<i>P3</i>	124,251	kW
	fL5	60,3	Hz	<i>P4</i>	177,558	kW
	fL6	60,3	Hz	<i>P5</i>	150,924	kW
	Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	172,005	kW

Υπολογιζόμενη Δευτερεύουσα Ρύθμιση	F	59,99	Hz	<i>fL1</i>	60,250	Hz
	P1	196,85	kW	<i>fL2</i>	60,306	Hz
	P2	151,57	kW	<i>fL3</i>	60,238	Hz
	P3	151,57	kW	<i>fL4</i>	60,249	Hz
	P4	151,57	kW	<i>fL5</i>	60,295	Hz
	P5	151,57	kW	<i>fL6</i>	60,337	Hz
	P6	196,85	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

- 3^ο Σετ Ρυθμίσεων

Πραγματοποιούμενη 2ουσα ρύθμιση	fL1	60,2	Hz	<i>f</i>	59,958	Hz
	fL2	60,3	Hz	<i>P1</i>	183,192	kW
	fL3	60,2	Hz	<i>P2</i>	163,801	kW
	fL4	60,2	Hz	<i>P3</i>	147,704	kW
	fL5	60,3	Hz	<i>P4</i>	141,508	kW
	fL6	60,3	Hz	<i>P5</i>	170,023	kW
	Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	193,772	kW

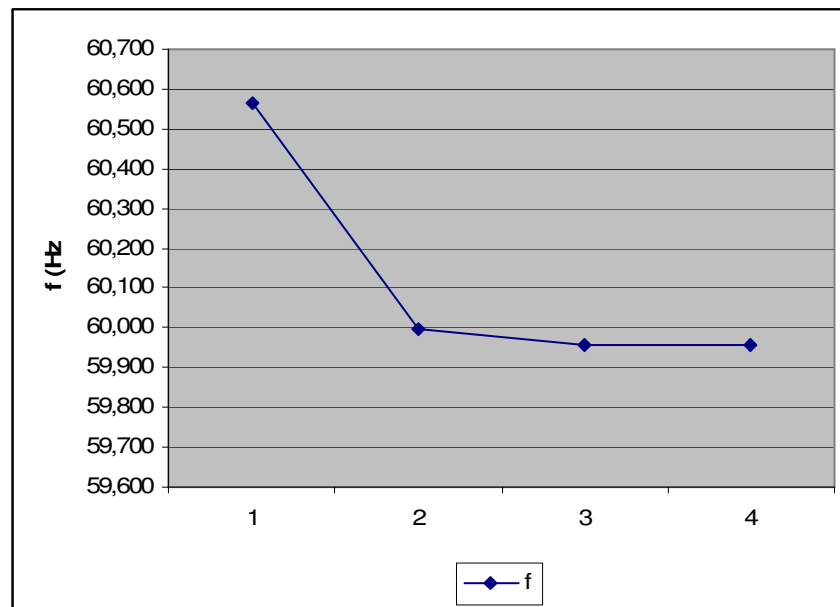
Υπολογιζόμενη Δευτερεύουσα Ρύθμιση	F	59,96	Hz	<i>fL1</i>	60,220	Hz
	P1	196,85	kW	<i>fL2</i>	60,276	Hz
	P2	151,57	kW	<i>fL3</i>	60,208	Hz
	P3	151,57	kW	<i>fL4</i>	60,219	Hz
	P4	151,57	kW	<i>fL5</i>	60,265	Hz
	P5	151,57	kW	<i>fL6</i>	60,307	Hz
	P6	196,85	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

- 4^ο Σετ Ρυθμίσεων

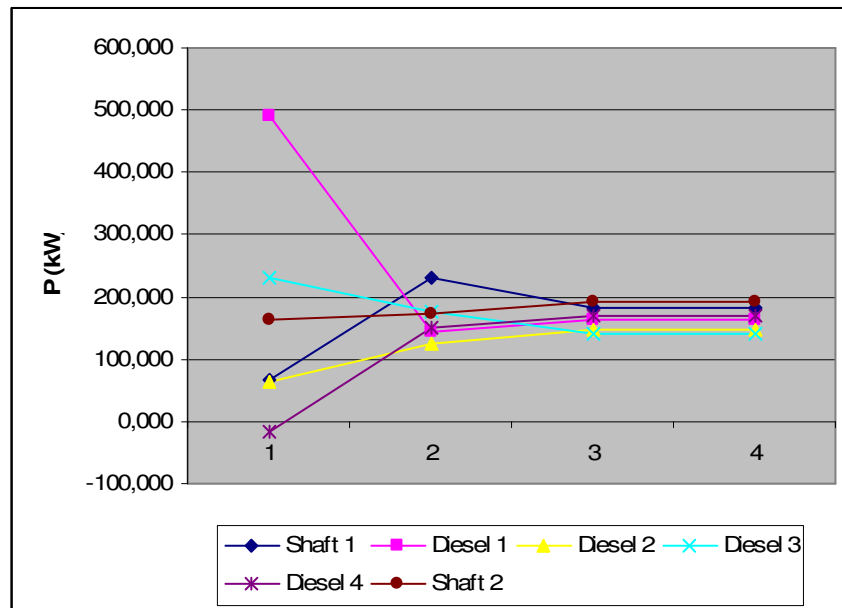
Πραγματοποιούμενη 2ουσα ρύθμιση	fL1	60,2	Hz	<i>f</i>	59,958	Hz
	fL2	60,3	Hz	<i>P1</i>	183,192	kW
	fL3	60,2	Hz	<i>P2</i>	163,801	kW
	fL4	60,2	Hz	<i>P3</i>	147,704	kW
	fL5	60,3	Hz	<i>P4</i>	141,508	kW
	fL6	60,3	Hz	<i>P5</i>	170,023	kW
	Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	193,772	kW

Υπολογιζόμενη Δευτερεύουσα Ρύθμιση	F	59,96	Hz	<i>fL1</i>	60,220	Hz
	P1	196,85	kW	<i>fL2</i>	60,276	Hz
	P2	151,57	kW	<i>fL3</i>	60,208	Hz
	P3	151,57	kW	<i>fL4</i>	60,219	Hz
	P4	151,57	kW	<i>fL5</i>	60,265	Hz
	P5	151,57	kW	<i>fL6</i>	60,307	Hz
	P6	196,85	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ



ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΙΣΧΥΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, βλέπουμε ότι λόγω μειωμένης ακρίβειας των μετρητικών μας οργάνων αλλά και των ανόμοια ρυθμισμένων στατισμών, το σύστημα δεν μπορεί να καταλήξει σε πλήρως ομοιόμορφη κατανομή φορτίου αλλά και ούτε να φτάσει ακριβώς την επιθυμητή συχνότητα με αποτέλεσμα η διαδικασία 2ουσας ρύθμισης να μην τερματίζεται ποτέ. Ανάλογα με την ακρίβεια ρύθμισης των κυκλωμάτων ελέγχου, το φαινόμενο μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο έντονο.

2.3. ΦΥΛΛΟ “(Q) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την άεργο ισχύ και των 6 γεννητριών σε παραλληλισμό.

Οι στατισμοί x_Q εδώ είναι πολύ άσχημα ρυθμισμένοι μιας και οι τιμές τους προέκυψαν από πραγματικές τιμές μετρήσεων που έγιναν στα πλαίσια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 1000$ kVar

x_{Q1}	0,03894
x_{Q2}	0,00692
x_{Q3}	0,00533
x_{Q4}	0,00351
x_{Q5}	0,00123
x_{Q6}	0,00879

Στατισμοί γεννητριών

V_n	450	V
Q_{n1}	750	kVar
Q_{n2}	577,5	kVar
Q_{n3}	577,5	kVar
Q_{n4}	577,5	kVar
Q_{n5}	577,5	kVar
Q_{n6}	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47	V
E_{K2}	460,68	V
E_{K3}	458,06	V
E_{K4}	456,40	V
E_{K5}	456,66	V
E_{K6}	459,58	V

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ek1	460,47	V	V	457,001	V
Ek2	460,68	V	Q1	148,493	kVar
Ek3	458,06	V	Q2	682,351	kVar
Ek4	456,40	V	Q3	255,073	kVar
Ek5	456,66	V	Q4	-219,600	kVar
Ek6	459,58	V	Q5	-355,390	kVar
Qtot	1000	kVar	Q6	489,075	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

V	440	V	Ek1	444,59921	V
Q1	196,85	kVar	Ek2	440,81732	V
Q2	151,57	kVar	Ek3	440,62953	V
Q3	151,57	kVar	Ek4	440,41457	V
Q4	151,57	kVar	Ek5	440,14528	V
Q5	151,57	kVar	Ek6	441,03819	V
Q6	196,85	kVar	Qtot	1000	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Λόγω των τόσο ανόμοιων στατισμών x_Q δημιουργείται έντονη ανισοκατανομή και ενίοτε και αρνητική ισχύς.

Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο άεργο φορτίο το παραλαμβάνει η diesel γεννήτρια #2 ενώ οι diesel γεννήτριες #4 και #5 απορροφούν ισχύ επιβαρύνοντας το σύστημα. Με σωστή κατανομή της φόρτισης, τα μεγαλύτερα φορτία έπρεπε να παραλαμβάνονται από τους condenser των αξονικών γεννητριών όπως επίσης και τα φορτία να είναι μοιρασμένα ομοιόμορφα μεταξύ των γεννητριών, όπως φαίνεται στα επιθυμητά όρια που ορίζουμε στο πρώτο μέρος του πίνακα δευτερεύουσας ρύθμισης.

2.4. ΦΥΛΛΟ “(P) – S1+S6” – (2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό ισχύ των 2 αξονικών γεννητριών σε παραλληλισμό με ανομοιόμορφα ρυθμισμένους στατισμούς, όπως αυτοί προέκυψαν ύστερα από μετρήσεις σε πραγματικό σύστημα πλοίου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 1000$ kW

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	0,022
x_{p6}	0,0294

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

fL1	60,65	Hz	f	59,981	Hz
fL6	60,85	Hz	$P1$	507,134	kW
Ptot	1000	kW	$P6$	492,866	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

F	60	Hz	fL1	60,660	Hz
P1	500	kW	fL6	60,882	Hz
P6	500	kW	Ptot	1000,00	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Εδώ παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο φορτίο το παραλαμβάνει η γεννήτρια #1. Κανονικά, εφ' όσον έχουμε δύο όμοιες γεννήτριες, θα έπρεπε το φορτίο να είναι ισοκατανεμημένο μεταξύ τους, όπως φαίνεται στα επιθυμητά όρια που ορίζουμε στο πρώτο μέρος του πίνακα δευτερεύουσας ρύθμισης.

2.5. ΦΥΛΛΟ “(Q) – S1+S6” – (2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την άεργο ισχύ και των 2 αξονικών γεννητριών σε παραλληλισμό με ανομοιόμορφα ρυθμισμένους στατισμούς, όπως αυτοί προέκυψαν ύστερα από μετρήσεις σε πραγματικό σύστημα πλοίου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 1000 \text{ kVar}$

x_{Q1}	0,03894
x_{Q6}	0,00879

Στατισμοί γεννητριών

V_n	450	V
Q_{n1}	750	kVar
Q_{n6}	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K6}	459,58

Set-Points HEΔ Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ek1	460,47	V	V	455,441	V
Ek6	459,58	V	Q1	215,238	kVar
Qtot	1000	kVar	Q6	784,762	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

V	440	V	Ek1	451,682	V
Q1	500,00	kVar	Ek6	442,637	V
Q6	500,00	kVar	Qtot	1000,000	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Πριν παρατηρήσαμε ότι το μεγαλύτερο μέρος των ενεργών φορτίων το αναλάμβανε η γεννήτρια #1.

Στα άεργα φορτία, μπορούμε να παρατηρήσουμε, ότι το μεγαλύτερο φορτίο το παραλαμβάνει η γεννήτρια #6. Όπως είπαμε και πριν, με σωστό επιμερισμό φορτίου, είναι εύλογο το φορτίο να έπρεπε να είναι ισοκατανεμημένο μεταξύ των δύο ομοίων γεννητριών, όπως φαίνεται στα επιθυμητά όρια που ορίζουμε στο πρώτο μέρος του πίνακα δευτερεύουσας ρύθμισης.

2.6. ΦΥΛΛΟ “(P) – S+D” – (1 Diesel + 1 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό ισχύ μιας diesel και μιας shaft γεννήτριας σε παραλληλισμό με ανομοιόμορφα ρυθμισμένους στατισμούς, όπως αυτοί προέκυψαν ύστερα από μετρήσεις σε πραγματικό σύστημα πλοίου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 1000$ kW

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	0,022
x_{p2}	0,02678

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

fL1	60,65	Hz	f	60,206	Hz
fL2	61,59	Hz	$P1$	336,612	kW
Ptot	1000	kW	$P2$	663,388	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

F	60	Hz	fL1	60,746	Hz
P1	564,97175	kW	fL2	60,908	Hz
P2	435,02825	kW	Ptot	1000,00	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο φορτίο το παραλαμβάνει η diesel γεννήτρια #2 η οποία έχει μικρότερη ισχύ από την αξονική γεννήτρια #1. Με σωστό επιμερισμό, η αξονική γεννήτρια #1 θα έπρεπε να παραλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της φόρτισης, όπως φαίνεται στα επιθυμητά όρια που ορίζουμε στο πρώτο μέρος του πίνακα δευτερεύουσας ρύθμισης.

2.7. ΦΥΛΛΟ “(Q) – S+D” – (1 Diesel + 1 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την άεργο ισχύ μιας diesel και μιας shaft γεννήτριας σε παραλληλισμό με ανομοιόμορφα ρυθμισμένους στατισμούς, όπως αυτοί προέκυψαν ύστερα από μετρήσεις σε πραγματικό σύστημα πλοίου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 1000 \text{ kVar}$

x_{Q1}	0,03894
x_{Q2}	0,00692

Στατισμοί γεννητριών

V_n	450	V
Q_{n1}	750	kVar
Q_{n2}	577,5	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68

Set-Points HEΔ Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ek1	460,47	V	V	456,260	V
Ek2	460,68	V	Q1	180,212	kVar
Qtot	1000	kVar	Q2	819,788	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

V	440	V	Ek1	453,200	V
Q1	564,97	kVar	Ek2	442,346	V
Q2	435,03	kVar	Qtot	1000,000	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Όπως και πριν, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο φορτίο το παραλαμβάνει η diesel γεννήτρια #2 η οποία έχει μικρότερη ισχύ από την αξονική γεννήτρια #1. Με σωστό επιμερισμό, η αξονική γεννήτρια #1 θα έπρεπε να παραλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της φόρτισης, όπως φαίνεται στα επιθυμητά όρια που ορίζουμε στο πρώτο μέρος του πίνακα δευτερεύουσας ρύθμισης.

2.8. ΦΥΛΛΟ “(P) – S1+S2+2xD” – (2 Diesel +2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό ισχύ των 2 diesel και των 2 shaft γεννητριών σε παραλληλισμό με ανομοιόμορφα ρυθμισμένους στατισμούς, όπως αυτοί προέκυψαν ύστερα από μετρήσεις σε πραγματικό σύστημα πλοίου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 1000$ kW

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	0,022
x_{p2}	0,02678
x_{p5}	0,0258
x_{p6}	0,0294

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	60,435	Hz
fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	163,246	kW
fL5	60,53	Hz	<i>P2</i>	553,724	kW
fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	47,495	kW
Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	235,535	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΥΡΥΘΜΙΣΗΣ

<i>f</i>	60	Hz	<i>fL1</i>	60,373	Hz
<i>P1</i>	282,49	kW	<i>fL2</i>	60,454	Hz
<i>P2</i>	217,51	kW	<i>fL5</i>	60,437	Hz
<i>P5</i>	217,51	kW	<i>fL6</i>	60,498	Hz
<i>P6</i>	282,49	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο φορτίο το παραλαμβάνει η diesel γεννήτρια #2, οι αξονικές γεννήτριες είναι άνισα φορτισμένες και με μικρότερα φορτία από τη γεννήτρια #2 ενώ η diesel γεννήτρια #5 είναι ελάχιστα φορτισμένη με ένα πολύ μικρό φορτίο. Με σωστό επιμερισμό, οι αξονικές γεννήτριες #1 και #6 θα έπρεπε να παραλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της φόρτισης και οι diesel γεννήτριες #2 και #5 θα έπρεπε να παραλαμβάνουν το υπόλοιπο φορτίο ισοκατανεμημένο ανάμεσα τους, όπως φαίνεται στα επιθυμητά όρια που ορίζουμε στο πρώτο μέρος του πίνακα δευτερεύουσας ρύθμισης.

2.9. ΦΥΛΛΟ “(Q) – S1+S2+2xD” – (2 Diesel +2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την άεργο ισχύ των 2 diesel και των 2 shaft γεννητριών σε παραλληλισμό με ανομοιόμορφα ρυθμισμένους στατισμούς, όπως αυτοί προέκυψαν ύστερα από μετρήσεις σε πραγματικό σύστημα πλοίου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 1000 \text{ kVar}$

x_{Q1}	0,03894
x_{Q2}	0,00692
x_{Q5}	0,00123
x_{Q6}	0,00879

Στατισμοί γεννητριών

V_n	450	V
Q_{n1}	750	kVar
Q_{n2}	577,5	kVar
Q_{n5}	577,5	kVar
Q_{n6}	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ek1	460,47	V	V	456,976	V
Ek2	460,68	V	Q1	149,532	kVar
Ek5	456,66	V	Q2	686,853	kVar
Ek6	459,58	V	Q5	-330,062	kVar
Qtot	1000	kVar	Q6	493,677	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

V	440	V	Ek1	446,6	V
Q1	282,49	kVar	Ek2	441,17288	V
Q2	217,51	kVar	Ek5	440,20847	V
Q5	217,51	kVar	Ek6	441,48983	V
Q6	282,49	kVar	Qtot	1000	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο φορτίο το παραλαμβάνει η diesel γεννήτρια #2, οι αξονικές γεννήτριες είναι άνισα φορτισμένες και με μικρότερα φορτία από τη γεννήτρια #2 ενώ η diesel γεννήτρια #5 εδώ απορροφάει ισχύ (αρνητική ισχύς). Με σωστό επιμερισμό, οι αξονικές γεννήτριες #1 και #6 θα έπρεπε να παραλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της φόρτισης και οι diesel γεννήτριες #2 και #5 θα έπρεπε να παραλαμβάνουν το υπόλοιπο φορτίο ισοκατανεμημένο ανάμεσα τους, όπως φαίνεται στα επιθυμητά όρια που ορίζουμε στο πρώτο μέρος του πίνακα δευτερεύουσας ρύθμισης.

3. ΑΡΧΕΙΟ « program 1 (case 2 - tuned).xls »

3.1. ΦΥΛΛΟ “(P) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό ισχύ και των 6 γεννητριών σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3%.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 1000 \text{ kW}$

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	3%
x_{p2}	3%
x_{p3}	3%
x_{p4}	3%
x_{p5}	3%
x_{p6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	60,509	Hz
fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	78,139	kW
fL3	60,67	Hz	<i>P2</i>	462,278	kW
fL4	60,96	Hz	<i>P3</i>	68,722	kW
fL5	60,53	Hz	<i>P4</i>	192,778	kW
fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	8,833	kW
Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	189,250	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

f	60	Hz	<i>fL1</i>	60,354	Hz
P1	196,85	kW	<i>fL2</i>	60,354	Hz
P2	151,57	kW	<i>fL3</i>	60,354	Hz
P3	151,57	kW	<i>fL4</i>	60,354	Hz
P4	151,57	kW	<i>fL5</i>	60,354	Hz
P5	151,57	kW	<i>fL6</i>	60,354	Hz
P6	196,85	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Το πρόβλημα της έντονης ανισοκατανομής που παρατηρήθηκε στις προηγούμενες περιπτώσεις, εδώ έχει διορθωθεί με τη σωστή ρύθμιση των στατισμών. Παρατηρούμε ότι το φορτίο μετά τη δευτερεύουσα ρύθμιση ισοκατανέμεται ανάμεσα στις γεννήτριες.

3.2. ΦΥΛΛΟ “ΔΟΚΙΜΕΣ” – (4 Diesel + 2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο γίνονται επαναληπτικές δοκιμές για την σταθεροποίηση της συχνότητας του συστήματος μας και του σωστού καταμερισμού του φορτίου μας συμμετρικά στις γεννήτριες μας. Έχουμε θεωρήσει ακρίβεια μετρητικών οργάνων στο 1 δεκαδικό για τις ισχύς και στο 3 δεκαδικό για τη συχνότητα. Εδώ οι στατισμοί των γεννητριών είναι σωστά ρυθμισμένοι.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- 1^ο Σετ Ρυθμίσεων

Αυτορυθμιση	fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	60,509	Hz
	fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	78,139	kW
	fL3	60,67	Hz	<i>P2</i>	462,278	kW
	fL4	60,96	Hz	<i>P3</i>	68,722	kW
	fL5	60,53	Hz	<i>P4</i>	192,778	kW
	fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	8,833	kW
	Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	189,250	kW

Υπολογιζόμενη Δευτερεύουσα Ρυθμιση	f	60,0	Hz	<i>fL1</i>	60,354	Hz
	P1	196,9	kW	<i>fL2</i>	60,354	Hz
	P2	151,6	kW	<i>fL3</i>	60,354	Hz
	P3	151,6	kW	<i>fL4</i>	60,354	Hz
	P4	151,6	kW	<i>fL5</i>	60,354	Hz
	P5	151,6	kW	<i>fL6</i>	60,354	Hz
	P6	196,9	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

- 2^ο Σετ Ρυθμίσεων

Πραγματοποιούμενη 2ουσα ρύθμιση	fL1	60,4	Hz	<i>f</i>	60,046	Hz
	fL2	60,4	Hz	<i>P1</i>	196,850	kW
	fL3	60,4	Hz	<i>P2</i>	151,575	kW
	fL4	60,4	Hz	<i>P3</i>	151,575	kW
	fL5	60,4	Hz	<i>P4</i>	151,575	kW
	fL6	60,4	Hz	<i>P5</i>	151,575	kW
	Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	196,850	kW

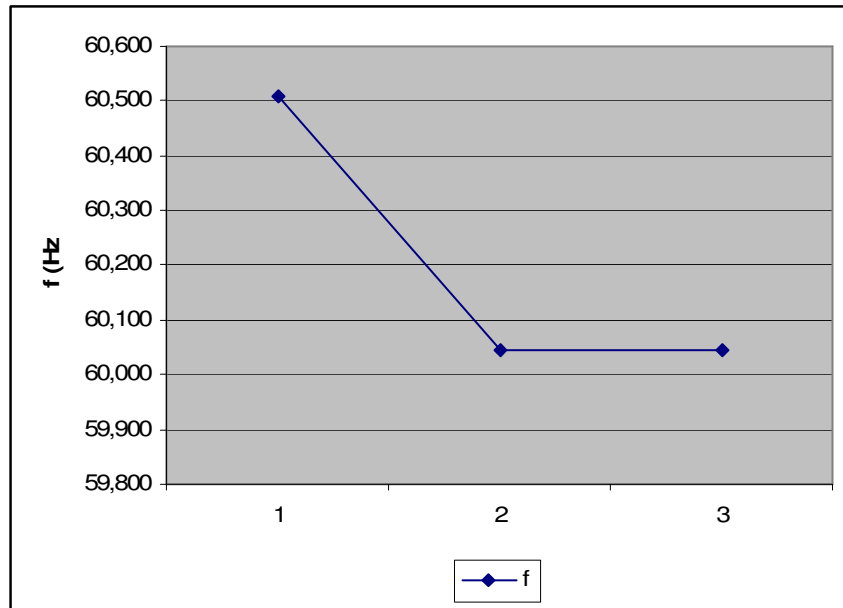
Υπολογιζόμενη Δευτερεύουσα Ρύθμιση	f	60	Hz	<i>fL1</i>	60,354	Hz
	P1	196,85	kW	<i>fL2</i>	60,354	Hz
	P2	151,57	kW	<i>fL3</i>	60,354	Hz
	P3	151,57	kW	<i>fL4</i>	60,354	Hz
	P4	151,57	kW	<i>fL5</i>	60,354	Hz
	P5	151,57	kW	<i>fL6</i>	60,354	Hz
	P6	196,85	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

- **3^ο Σετ Ρυθμίσεων**

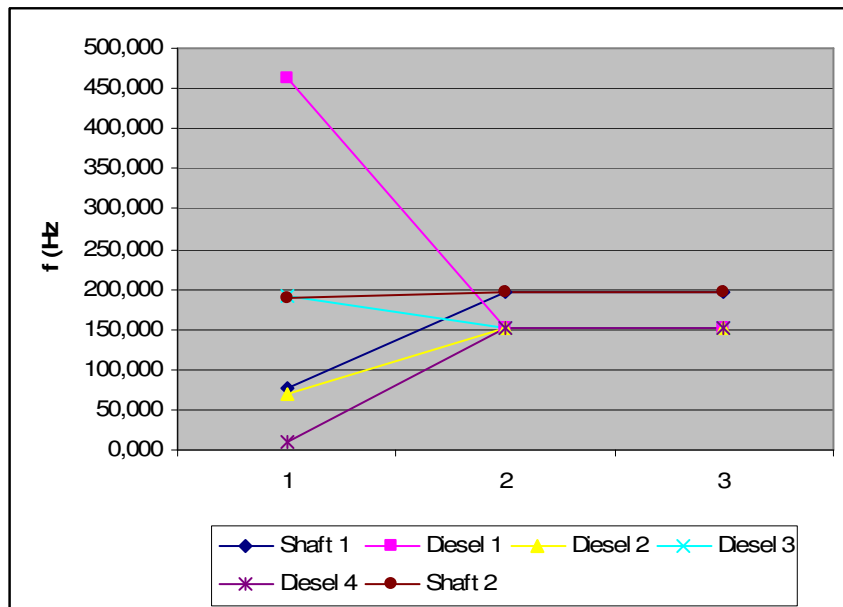
Πραγματοποιούμενη 2ουσα ρύθμιση	fL1	60,4	Hz	<i>f</i>	60,046	Hz
	fL2	60,4	Hz	<i>P1</i>	196,850	kW
	fL3	60,4	Hz	<i>P2</i>	151,575	kW
	fL4	60,4	Hz	<i>P3</i>	151,575	kW
	fL5	60,4	Hz	<i>P4</i>	151,575	kW
	fL6	60,4	Hz	<i>P5</i>	151,575	kW
	Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	196,850	kW

Υπολογιζόμενη Δευτερεύουσα Ρύθμιση	f	60	Hz	<i>fL1</i>	60,354	Hz
	P1	196,85	kW	<i>fL2</i>	60,354	Hz
	P2	151,57	kW	<i>fL3</i>	60,354	Hz
	P3	151,57	kW	<i>fL4</i>	60,354	Hz
	P4	151,57	kW	<i>fL5</i>	60,354	Hz
	P5	151,57	kW	<i>fL6</i>	60,354	Hz
	P6	196,85	kW	<i>Ptot</i>	1000,00	kW

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ



ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



ΙΣΧΥΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, βλέπουμε εδώ τώρα ότι παρόλο τη μειωμένη ακρίβεια των μετρητικών μας οργάνων, το σύστημα μας καταλήγει σε ομοιόμορφη κατανομή φορτίου και αποκτά την επιθυμητή συχνότητα έπειτα από τη δεύτερη επανάληψη. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι με τη διόρθωση των στατισμών και ορίζοντας τους ομοιόμορφα, το πρόβλημα που μας δημιουργήθηκε στην προηγούμενη περίπτωση εδώ έχει διορθωθεί.

Βέβαια στην πράξη, είναι πολύ δύσκολη η τόσο ακριβής ρύθμιση των στατισμών στις γεννήτριες οπότε και δεν μπορούμε σε πραγματικές συνθήκες να έχουμε τα ανωτέρω αποτελέσματα στην ισοκατανομή του φορτίου και στη συχνότητα του συστήματος και σίγουρα όχι σε τόσες λίγες επαναλήψεις.

3.3. ΦΥΛΛΟ “(Q) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την άεργο ισχύ και των 6 γεννητριών σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3%.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 1000 \text{ kVar}$

x_{Q1}	3%
x_{Q2}	3%
x_{Q3}	3%
x_{Q4}	3%
x_{Q5}	3%
x_{Q6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

V_n	450	V
Q_{n1}	750	kVar
Q_{n2}	577,5	kVar
Q_{n3}	577,5	kVar
Q_{n4}	577,5	kVar
Q_{n5}	577,5	kVar
Q_{n6}	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ek1	460,47	V	V	455,224	V
Ek2	460,68	V	Q1	291,465	kVar
Ek3	458,06	V	Q2	233,412	kVar
Ek4	456,40	V	Q3	121,334	kVar
Ek5	456,66	V	Q4	50,323	kVar
Ek6	459,58	V	Q5	61,445	kVar
Qtot	1000	kVar	Q6	242,021	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

V	440	V	Ek1	443,54331	V
Q1	196,85	kVar	Ek2	443,54331	V
Q2	151,57	kVar	Ek3	443,54331	V
Q3	151,57	kVar	Ek4	443,54331	V
Q4	151,57	kVar	Ek5	443,54331	V
Q5	151,57	kVar	Ek6	443,54331	V
Q6	196,85	kVar	Qtot	1000	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ**

Το πρόβλημα της έντονης ανισοκατανομής που παρατηρήθηκε στις προηγούμενες περιπτώσεις, εδώ έχει διορθωθεί με τη σωστή ρύθμιση των στατισμών. Παρατηρούμε ότι το φορτίο μετά τη δευτερεύουσα ρύθμιση ισοκατανέμεται ανάμεσα στις γεννήτριες.

4. ΑΡΧΕΙΟ « program 1 (Case 3 – 100% Load).xls »**4.1. ΦΥΛΛΟ “(P) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)**

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό ισχύ και των 6 γεννητριών σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3% και φορτίο ίσο με το 100% της συνολικής ισχύς των γεννητριών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 5080$ kW

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	3%
x_{p2}	3%
x_{p3}	3%
x_{p4}	3%
x_{p5}	3%
x_{p6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	59,064	Hz
fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	881,288	kW
fL3	60,67	Hz	<i>P2</i>	1080,703	kW
fL4	60,96	Hz	<i>P3</i>	687,148	kW
fL5	60,53	Hz	<i>P4</i>	811,203	kW
fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	627,259	kW
Ptot	5080	kW	<i>P6</i>	992,399	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΥΥΘΜΙΣΗΣ

f	60	Hz	<i>fL1</i>	61,800	Hz
P1	1000,00	kW	<i>fL2</i>	61,800	Hz
P2	770,00	kW	<i>fL3</i>	61,800	Hz
P3	770,00	kW	<i>fL4</i>	61,800	Hz
P4	770,00	kW	<i>fL5</i>	61,800	Hz
P5	770,00	kW	<i>fL6</i>	61,800	Hz
P6	1000,00	kW	<i>Ptot</i>	5080,00	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

4.2. ΦΥΛΛΟ “(Q) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την άεργο ισχύ και των 6 γεννητριών σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3% και φορτίο ίσο με το 100% της συνολικής ισχύς των γεννητριών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 3810 \text{ kVar}$

x_{Q1}	3%
x_{Q2}	3%
x_{Q3}	3%
x_{Q4}	3%
x_{Q5}	3%
x_{Q6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

V_n	450	V
Q_{n1}	750	kVar
Q_{n2}	577,5	kVar
Q_{n3}	577,5	kVar
Q_{n4}	577,5	kVar
Q_{n5}	577,5	kVar
Q_{n6}	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points HEΔ Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ek1	460,47	V	V	445,267	V
Ek2	460,68	V	Q1	844,615	kVar
Ek3	458,06	V	Q2	659,337	kVar
Ek4	456,40	V	Q3	547,259	kVar
Ek5	456,66	V	Q4	476,248	kVar
Ek6	459,58	V	Q5	487,370	kVar
Qtot	3810	kVar	Q6	795,171	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

V	440	V	Ek1	453,5	V
Q1	750,00	kVar	Ek2	453,5	V
Q2	577,50	kVar	Ek3	453,5	V
Q3	577,50	kVar	Ek4	453,5	V
Q4	577,50	kVar	Ek5	453,5	V
Q5	577,50	kVar	Ek6	453,5	V
Q6	750,00	kVar	Qtot	3810	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

5. ΑΡΧΕΙΟ « program 1 (Case 4 – 50% Load).xls »**5.1. ΦΥΛΛΟ “(P) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)**

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό ισχύ και των 6 γεννητριών σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3% και φορτίο ίσο με το 50% της συνολικής ισχύς των γεννητριών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 2540$ kW

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	3%
x_{p2}	3%
x_{p3}	3%
x_{p4}	3%
x_{p5}	3%
x_{p6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	59,964	Hz
fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	381,288	kW
fL3	60,67	Hz	<i>P2</i>	695,703	kW
fL4	60,96	Hz	<i>P3</i>	302,148	kW
fL5	60,53	Hz	<i>P4</i>	426,203	kW
fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	242,259	kW
Ptot	2540	kW	<i>P6</i>	492,399	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΥΥΘΜΙΣΗΣ

f	60	Hz	<i>fL1</i>	60,900	Hz
P1	500,00	kW	<i>fL2</i>	60,900	Hz
P2	385,00	kW	<i>fL3</i>	60,900	Hz
P3	385,00	kW	<i>fL4</i>	60,900	Hz
P4	385,00	kW	<i>fL5</i>	60,900	Hz
P5	385,00	kW	<i>fL6</i>	60,900	Hz
P6	500,00	kW	<i>Ptot</i>	2540,00	kW

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

5.2. ΦΥΛΛΟ “(Q) – 6” – (4 Diesel +2 Shaft)

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται η αυτορύθμιση και η δευτερεύουσα ρύθμιση για την άεργο ισχύ και των 6 γεννητριών σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3% και με φορτίο ίσο με το 50% της συνολικής ισχύς των γεννητριών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 1905 \text{ kVar}$

x_{Q1}	3%
x_{Q2}	3%
x_{Q3}	3%
x_{Q4}	3%
x_{Q5}	3%
x_{Q6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

V_n	450	V
Q_{n1}	750	kVar
Q_{n2}	577,5	kVar
Q_{n3}	577,5	kVar
Q_{n4}	577,5	kVar
Q_{n5}	577,5	kVar
Q_{n6}	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points HEΔ Γεννητριών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ek1	460,47	V	V	452,017	V
Ek2	460,68	V	Q1	469,615	kVar
Ek3	458,06	V	Q2	370,587	kVar
Ek4	456,40	V	Q3	258,509	kVar
Ek5	456,66	V	Q4	187,498	kVar
Ek6	459,58	V	Q5	198,620	kVar
Qtot	1905	kVar	Q6	420,171	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΡΥΘΜΙΣΗΣ

V	440	V	Ek1	446,75	V
Q1	375,00	kVar	Ek2	446,75	V
Q2	288,75	kVar	Ek3	446,75	V
Q3	288,75	kVar	Ek4	446,75	V
Q4	288,75	kVar	Ek5	446,75	V
Q5	288,75	kVar	Ek6	446,75	V
Q6	375,00	kVar	Qtot	1905	kVar

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

6. ΑΡΧΕΙΟ « program 2 (Case 1 – Real Conditions).xls »**6.1. ΦΥΛΛΑ “Auto (1-4)”, “Auto (5-8)” – (4 Diesel +2 Shaft)**

Στα φύλλα αυτά υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ συναρτήσει η μια της άλλης και για τις έξι γεννήτριες σε παραλληλισμό.

Οι στατισμοί x_p εδώ είναι πολύ άσχημα ρυθμισμένοι μιας και οι τιμές τους προέκυψαν από πραγματικές τιμές μετρήσεων που έγιναν στα πλαίσια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 1000$ kW

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 810$ kVar

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	0,022
x_{p2}	0,02678
x_{p3}	0,02101
x_{p4}	0,02193
x_{p5}	0,0258
x_{p6}	0,0294

Στατισμοί γεννητριών

fn	60	Hz
Pn1	1000	kW
Pn2	770	kW
Pn3	770	kW
Pn4	770	kW
Pn5	770	kW
Pn6	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

V_n	450	V
Q_{n1}	750	kVar
Q_{n2}	577,5	kVar
Q_{n3}	577,5	kVar
Q_{n4}	577,5	kVar
Q_{n5}	577,5	kVar
Q_{n6}	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

X₁	0,286
X₂	0,509
X₃	0,509
X₄	0,509
X₅	0,509
X₆	0,286

Επαγωγικές αντιδράσεις γεννητριών (σύμφωνα με τον κατασκευαστή)

f_{L1}	60,65	Hz	f	60,564	Hz	V	450
f_{L2}	61,59	Hz	P1	65,470	kW	δ1	0
f_{L3}	60,67	Hz	P2	491,875	kW	δ2	0
f_{L4}	60,96	Hz	P3	65,004	kW	δ3	0
f_{L5}	60,53	Hz	P4	231,984	kW	δ4	0
f_{L6}	60,85	Hz	P5	-16,703	kW	δ5	0
P_{tot}	1000	kW	P6	162,370	kW	δ6	0

Πίνακας αρχικής αυτορύθμισης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ

V	458,9840602
$\delta 1$	9,03643E-05
$\delta 2$	0,001207703
$\delta 3$	0,000160518
$\delta 4$	0,000574933
$\delta 5$	-4,13715E-05
$\delta 6$	0,000224542

Auto (1)

V	458,8081737
$\delta 1$	8,86302E-05
$\delta 2$	0,001184527
$\delta 3$	0,000157437
$\delta 4$	0,000563899
$\delta 5$	-4,05775E-05
$\delta 6$	0,000220233

Auto (2)

V	458,8081063
$\delta 1$	8,86295E-05
$\delta 2$	0,001184518
$\delta 3$	0,000157436
$\delta 4$	0,000563895
$\delta 5$	-4,05772E-05
$\delta 6$	0,000220232

Auto (3)

Τα αποτελέσματα από την επανάληψη 3 έως την επανάληψη 8 είναι ίδια.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Βλέπουμε εδώ ότι το σύστημα ελέγχου της φόρτισης (πρωτεύουσα ρύθμιση) αδυνατεί να διορθώσει το πρόβλημα ανισοκατανομής της φόρτισης ακόμα και έπειτα από αρκετές επαναλήψεις. Αυτό μας οδήγησε και στο συμπέρασμα ότι η αιτία αυτού του προβλήματος είναι οι κακώς ρυθμισμένοι στατισμοί των γεννητριών.

6.2. ΦΥΛΛΟ “Secondary” – (4 Diesel +2 Shaft)

Στο φύλλο αυτό υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε στατικό επίπεδο, η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ συναρτήσει η μια της άλλης και για τις έξι γεννήτριες σε παραλληλισμό.

Οι στατισμοί x_p εδώ είναι πολύ άσχημα ρυθμισμένοι μιας και οι τιμές τους προέκυψαν από πραγματικές τιμές μετρήσεων που έγιναν στα πλαίσια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 1000$ kW

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 810$ kVar

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	0,022
x_{p2}	0,02678
x_{p3}	0,02101
x_{p4}	0,02193
x_{p5}	0,0258
x_{p6}	0,0294

Στατισμοί γεννητριών

fn	60	Hz
Pn1	1000	kW
Pn2	770	kW
Pn3	770	kW
Pn4	770	kW
Pn5	770	kW
Pn6	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

V_n	450	V
Q_{n1}	750	kVar
Q_{n2}	577,5	kVar
Q_{n3}	577,5	kVar
Q_{n4}	577,5	kVar
Q_{n5}	577,5	kVar
Q_{n6}	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

X₁	0,286
X₂	0,509
X₃	0,509
X₄	0,509
X₅	0,509
X₆	0,286

Επαγωγικές αντιδράσεις γεννητριών (σύμφωνα με τον κατασκευαστή)

fL1	60,65	Hz	f	60,564	Hz	V	458,8081063
fL2	61,59	Hz	P1	196,8503937	kW	δ1	8,86295E-05
fL3	60,67	Hz	P2	151,5748031	kW	δ2	0,001184518
fL4	60,96	Hz	P3	151,5748031	kW	δ3	0,000157436
fL5	60,53	Hz	P4	151,5748031	kW	δ4	0,000563895
fL6	60,85	Hz	P5	151,5748031	kW	δ5	-4,05772E-05
Ptot	1000	kW	P6	196,8503937	kW	δ6	0,000220232

Πίνακας αυτορύθμισης

Q1	159,4488189	kVar
Q2	122,7755906	kVar
Q3	122,7755906	kVar
Q4	122,7755906	kVar
Q5	122,7755906	kVar
Q6	159,4488189	kVar

Ισοκατανομή έργου φορτίου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

E1	458,9075158
E2	458,9443439
E3	458,9443439
E4	458,9443439
E5	458,9443439
E6	458,9075158

HEΔ Γεννητριών

δ1	0,00026739
δ2	0,0003664
δ3	0,0003664
δ4	0,0003664
δ5	0,0003664
δ6	0,00026739

Γωνίες Ισχύος Γεννητριών

7. ΑΡΧΕΙΟ « program 2 (Case 2 - Tuned).xls »

7.1. ΦΥΛΛΑ “Auto (1-4)”, “Auto (5-8)” – (4 Diesel +2 Shaft)

Στα φύλλα αυτά υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ συναρτήσει η μια της άλλης και για τις έξι γεννήτριες σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3%.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 1000$ kW

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 810$ kVar

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	3%
x_{p2}	3%
x_{p3}	3%
x_{p4}	3%
x_{p5}	3%
x_{p6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

Vn	450	V
Qn1	750	kVar
Qn2	577,5	kVar
Qn3	577,5	kVar
Qn4	577,5	kVar
Qn5	577,5	kVar
Qn6	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points HEΔ Γεννητριών

X₁	0,286
X₂	0,509
X₃	0,509
X₄	0,509
X₅	0,509
X₆	0,286

Επαγωγικές αντιδράσεις γεννητριών (σύμφωνα με τον κατασκευαστή)

fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	60,000	Hz	V	450
fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	196,850	kW	δ1	0
fL3	60,67	Hz	<i>P2</i>	151,575	kW	δ2	0
fL4	60,96	Hz	<i>P3</i>	151,575	kW	δ3	0
fL5	60,53	Hz	<i>P4</i>	151,575	kW	δ4	0
fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	151,575	kW	δ5	0
Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	196,850	kW	δ6	0

Πίνακας αρχικής αυτορύθμισης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ

<i>V</i>	<i>458,9840602</i>
<i>δ1</i>	<i>0,000271699</i>
<i>δ2</i>	<i>0,000372163</i>
<i>δ3</i>	<i>0,000374291</i>
<i>δ4</i>	<i>0,000375653</i>
<i>δ5</i>	<i>0,000375439</i>
<i>δ6</i>	<i>0,000272225</i>

Auto (1)

<i>V</i>	<i>458,8082059</i>
<i>δ1</i>	<i>0,000266485</i>
<i>δ2</i>	<i>0,000365021</i>
<i>δ3</i>	<i>0,000367109</i>
<i>δ4</i>	<i>0,000368444</i>
<i>δ5</i>	<i>0,000368234</i>
<i>δ6</i>	<i>0,000267001</i>

Auto (2)

<i>V</i>	<i>458,8081384</i>
<i>δ1</i>	<i>0,000266483</i>
<i>δ2</i>	<i>0,000365018</i>
<i>δ3</i>	<i>0,000367106</i>
<i>δ4</i>	<i>0,000368441</i>
<i>δ5</i>	<i>0,000368231</i>
<i>δ6</i>	<i>0,000266999</i>

Auto (3)

Τα αποτελέσματα από την επανάληψη 3 έως την επανάληψη 8 είναι ίδια.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Βλέπουμε εδώ τώρα ότι μετά τη ρύθμιση των στατισμών των γεννητριών, το σύστημα ελέγχου της φόρτισης (πρωτεύουσα ρύθμιση) μπορεί πλέον άμεσα να πραγματοποιήσει σωστό επιμερισμό του φορτίου.

Αυτό επιβεβαιώνει το συμπέρασμα ότι η αιτία αυτού του προβλήματος ήταν οι κακώς ρυθμισμένοι στατισμοί των γεννητριών.

7.2. ΦΥΛΛΟ “Secondary” – (4 Diesel +2 Shaft)

Στο φύλλο αυτό υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε στατικό επίπεδο, η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ συναρτήσει η μια της άλλης και για τις έξι γεννήτριες σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3%.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 1000$ kW

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 810$ kVar

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	3%
x_{p2}	3%
x_{p3}	3%
x_{p4}	3%
x_{p5}	3%
x_{p6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

Vn	450
Qn1	750
Qn2	577,5
Qn3	577,5
Qn4	577,5
Qn5	577,5
Qn6	750

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

X₁	0,286
X₂	0,509
X₃	0,509
X₄	0,509
X₅	0,509
X₆	0,286

Επαγωγικές αντιδράσεις γεννητριών (σύμφωνα με τον κατασκευαστή)

fL1	60,65	Hz	f	60,564	Hz	V	458,8081384
fL2	61,59	Hz	P1	196,8503937	kW	δ1	0,000266483
fL3	60,67	Hz	P2	151,5748031	kW	δ2	0,000365018
fL4	60,96	Hz	P3	151,5748031	kW	δ3	0,000367106
fL5	60,53	Hz	P4	151,5748031	kW	δ4	0,000368441
fL6	60,85	Hz	P5	151,5748031	kW	δ5	0,000368231
Ptot	1000	kW	P6	196,8503937	kW	δ6	0,000266999

Πίνακας αυτορύθμισης

Q1	159,4488189	kVar
Q2	122,7755906	kVar
Q3	122,7755906	kVar
Q4	122,7755906	kVar
Q5	122,7755906	kVar
Q6	159,4488189	kVar

Ισοκατανομή άεργου φορτίου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

E1	458,9075479
E2	458,944376
E3	458,944376
E4	458,944376
E5	458,944376
E6	458,9075479

ΗΕΔ Γεννητριών

δ1	0,00026739
δ2	0,0003664
δ3	0,0003664
δ4	0,0003664
δ5	0,0003664
δ6	0,00026739

Γωνίες Ισχύος Γεννητριών

8. ΑΡΧΕΙΟ « program 2 (Case 3 – 100% Load).xls »**8.1. ΦΥΛΛΑ “Auto (1-4)”, “Auto (5-8)” – (4 Diesel +2 Shaft)**

Στα φύλλα αυτά υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ συναρτήσει η μια της άλλης και για τις έξι γεννήτριες σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3% και φορτίο ίσο με το 100% της συνολικής ισχύς των γεννητριών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 5080$ kW

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 3810$ kVar

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	3%
x_{p2}	3%
x_{p3}	3%
x_{p4}	3%
x_{p5}	3%
x_{p6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

Vn	450	V
Qn1	750	kVar
Qn2	577,5	kVar
Qn3	577,5	kVar
Qn4	577,5	kVar
Qn5	577,5	kVar
Qn6	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

X₁	0,286
X₂	0,509
X₃	0,509
X₄	0,509
X₅	0,509
X₆	0,286

Επαγωγικές αντιδράσεις γεννητριών (σύμφωνα με τον κατασκευαστή)

fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	60,000	Hz	V	450
fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	196,850	kW	δ1	0
fL3	60,67	Hz	<i>P2</i>	151,575	kW	δ2	0
fL4	60,96	Hz	<i>P3</i>	151,575	kW	δ3	0
fL5	60,53	Hz	<i>P4</i>	151,575	kW	δ4	0
fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	151,575	kW	δ5	0
Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	196,850	kW	δ6	0

Πίνακας αρχικής αυτορύθμισης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ

<i>V</i>	<i>458,5260882</i>
<i>δ1</i>	<i>0,000271699</i>
<i>δ2</i>	<i>0,000372163</i>
<i>δ3</i>	<i>0,000374291</i>
<i>δ4</i>	<i>0,000375653</i>
<i>δ5</i>	<i>0,000375439</i>
<i>δ6</i>	<i>0,000272225</i>

Auto (1)

<i>V</i>	<i>458,3673865</i>
<i>δ1</i>	<i>0,000266741</i>
<i>δ2</i>	<i>0,000365371</i>
<i>δ3</i>	<i>0,000367461</i>
<i>δ4</i>	<i>0,000368798</i>
<i>δ5</i>	<i>0,000368588</i>
<i>δ6</i>	<i>0,000267258</i>

Auto (2)

<i>V</i>	<i>458,3673315</i>
<i>δ1</i>	<i>0,000266739</i>
<i>δ2</i>	<i>0,000365369</i>
<i>δ3</i>	<i>0,000367459</i>
<i>δ4</i>	<i>0,000368795</i>
<i>δ5</i>	<i>0,000368585</i>
<i>δ6</i>	<i>0,000267256</i>

Auto (3)

Τα αποτελέσματα από την επανάληψη 3 έως την επανάληψη 8 είναι ίδια.

8.2. ΦΥΛΛΟ “Secondary” – (4 Diesel +2 Shaft)

Στο φύλλο αυτό υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε στατικό επίπεδο, η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ συναρτήσει η μια της άλλης και για τις έξι γεννήτριες σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3% και φορτίο ίσο με το 100% της συνολικής ισχύς των γεννητριών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 5080$ kW

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 3810$ kVar

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	3%
x_{p2}	3%
x_{p3}	3%
x_{p4}	3%
x_{p5}	3%
x_{p6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

V_n	450
Q_{n1}	750
Q_{n2}	577,5
Q_{n3}	577,5
Q_{n4}	577,5
Q_{n5}	577,5
Q_{n6}	750

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

X₁	0,286
X₂	0,509
X₃	0,509
X₄	0,509
X₅	0,509
X₆	0,286

Επαγωγικές αντιδράσεις γεννητριών (σύμφωνα με τον κατασκευαστή)

fL1	60,65	Hz	f	60,564	Hz	V	458,8081384
fL2	61,59	Hz	P1	196,8503937	kW	Δ1	0,000266483
fL3	60,67	Hz	P2	151,5748031	kW	Δ2	0,000365018
fL4	60,96	Hz	P3	151,5748031	kW	Δ3	0,000367106
fL5	60,53	Hz	P4	151,5748031	kW	Δ4	0,000368441
fL6	60,85	Hz	P5	151,5748031	kW	Δ5	0,000368231
Ptot	1000	kW	P6	196,8503937	kW	Δ6	0,000266999

Πίνακας αυτορύθμισης

Q1	750	kVar
Q2	577,5	kVar
Q3	577,5	kVar
Q4	577,5	kVar
Q5	577,5	kVar
Q6	750	kVar

Ισοκατανομή άεργου φορτίου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

E1	458,835721
E2	459,0094204
E3	459,0094204
E4	459,0094204
E5	459,0094204
E6	458,835721

HEΔ Γεννητριών

δ1	0,00135986
δ2	0,00186283
δ3	0,00186283
δ4	0,00186283
δ5	0,00186283
δ6	0,00135986

Γωνίες Ισχύος Γεννητριών

9. ΑΡΧΕΙΟ « program 2 (Case 4 – 50% Load).xls »**9.1. ΦΥΛΛΑ “Auto (1-4)”, “Auto (5-8)” – (4 Diesel +2 Shaft)**

Στα φύλλα αυτά υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ συναρτήσει η μια της άλλης και για τις έξι γεννήτριες σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3% και φορτίο ίσο με το 50% της συνολικής ισχύς των γεννητριών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 2540$ kW

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 1905$ kVar

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	3%
x_{p2}	3%
x_{p3}	3%
x_{p4}	3%
x_{p5}	3%
x_{p6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

Vn	450	V
Qn1	750	kVar
Qn2	577,5	kVar
Qn3	577,5	kVar
Qn4	577,5	kVar
Qn5	577,5	kVar
Qn6	750	kVar

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

X₁	0,286
X₂	0,509
X₃	0,509
X₄	0,509
X₅	0,509
X₆	0,286

Επαγωγικές αντιδράσεις γεννητριών (σύμφωνα με τον κατασκευαστή)

fL1	60,65	Hz	<i>f</i>	60,000	Hz	V	450
fL2	61,59	Hz	<i>P1</i>	196,850	kW	δ1	0
fL3	60,67	Hz	<i>P2</i>	151,575	kW	δ2	0
fL4	60,96	Hz	<i>P3</i>	151,575	kW	δ3	0
fL5	60,53	Hz	<i>P4</i>	151,575	kW	δ4	0
fL6	60,85	Hz	<i>P5</i>	151,575	kW	δ5	0
Ptot	1000	kW	<i>P6</i>	196,850	kW	δ6	0

Πίνακας αρχικής αυτορύθμισης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ

<i>V</i>	<i>458,8169004</i>
<i>δ1</i>	<i>0,000271699</i>
<i>δ2</i>	<i>0,000372163</i>
<i>δ3</i>	<i>0,000374291</i>
<i>δ4</i>	<i>0,000375653</i>
<i>δ5</i>	<i>0,000375439</i>
<i>δ6</i>	<i>0,000272225</i>

Auto (1)

<i>V</i>	<i>458,6474048</i>
<i>δ1</i>	<i>0,000266579</i>
<i>δ2</i>	<i>0,000365149</i>
<i>δ3</i>	<i>0,000367237</i>
<i>δ4</i>	<i>0,000368573</i>
<i>δ5</i>	<i>0,000368363</i>
<i>δ6</i>	<i>0,000267095</i>

Auto (2)

<i>V</i>	<i>458,6473422</i>
<i>δ1</i>	<i>0,000266577</i>
<i>δ2</i>	<i>0,000365146</i>
<i>δ3</i>	<i>0,000367235</i>
<i>δ4</i>	<i>0,00036857</i>
<i>δ5</i>	<i>0,00036836</i>
<i>δ6</i>	<i>0,000267093</i>

Auto (3)

Τα αποτελέσματα από την επανάληψη 3 έως την επανάληψη 8 είναι ίδια.

9.2. ΦΥΛΛΟ “Secondary” – (4 Diesel +2 Shaft)

Στο φύλλο αυτό υπολογίζεται και παρουσιάζεται σε στατικό επίπεδο, η δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ συναρτήσει η μια της άλλης και για τις έξι γεννήτριες σε παραλληλισμό με ρυθμισμένους στατισμούς σε μια επιθυμητή θεωρητική τιμή της τάξεως του 3% και φορτίο ίσο με το 50% της συνολικής ισχύς των γεννητριών.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $P_{TOTAL} = 2540$ kW

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΕΡΓΟ ΦΟΡΤΙΟ: $Q_{TOTAL} = 1905$ kVar

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ DIESEL = 962,5 kVA

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ SHAFT = 1250 kVA

x_{p1}	3%
x_{p2}	3%
x_{p3}	3%
x_{p4}	3%
x_{p5}	3%
x_{p6}	3%

Στατισμοί γεννητριών

f_n	60	Hz
P_{n1}	1000	kW
P_{n2}	770	kW
P_{n3}	770	kW
P_{n4}	770	kW
P_{n5}	770	kW
P_{n6}	1000	kW

Ονομαστική συχνότητα συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

f_{L1}	60,65
f_{L2}	61,59
f_{L3}	60,67
f_{L4}	60,96
f_{L5}	60,53
f_{L6}	60,85

Set-Points Συχνοτήτων Γεννητριών

V_n	450
Q_{n1}	750
Q_{n2}	577,5
Q_{n3}	577,5
Q_{n4}	577,5
Q_{n5}	577,5
Q_{n6}	750

Ονομαστική τάση συστήματος και ονομαστικό φορτίο γεννητριών

E_{K1}	460,47
E_{K2}	460,68
E_{K3}	458,06
E_{K4}	456,40
E_{K5}	456,66
E_{K6}	459,58

Set-Points ΗΕΔ Γεννητριών

X₁	0,286
X₂	0,509
X₃	0,509
X₄	0,509
X₅	0,509
X₆	0,286

Επαγωγικές αντιδράσεις γεννητριών (σύμφωνα με τον κατασκευαστή)

fL1	60,65	Hz	f	60,564	Hz	V	458,8081384
fL2	61,59	Hz	P1	196,8503937	kW	δ1	0,000266483
fL3	60,67	Hz	P2	151,5748031	kW	δ2	0,000365018
fL4	60,96	Hz	P3	151,5748031	kW	δ3	0,000367106
fL5	60,53	Hz	P4	151,5748031	kW	δ4	0,000368441
fL6	60,85	Hz	P5	151,5748031	kW	δ5	0,000368231
Ptot	1000	kW	P6	196,8503937	kW	δ6	0,000266999

Πίνακας αυτορύθμισης

Q1	375	kVar
Q2	288,75	kVar
Q3	288,75	kVar
Q4	288,75	kVar
Q5	288,75	kVar
Q6	375	kVar

Ισοκατανομή άεργου φορτίου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

E1	458,8812879
E2	458,9679915
E3	458,9679915
E4	458,9679915
E5	458,9679915
E6	458,8812879

HEΔ Γεννητριών

δ1	0,00067945
δ2	0,00093093
δ3	0,00093093
δ4	0,00093093
δ5	0,00093093
δ6	0,00067945

Γωνίες Ισχύος Γεννητριών

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως αποδεικνύεται και από τα παραπάνω αποτελέσματα, αυτή η κακή ρύθμιση των στατισμών ήταν και η αιτία των προβλημάτων ανισοκατανομής στον επιμερισμό του φορτίου μεταξύ των γεννητριών.

Με σωστή ρύθμιση των στατισμών των γεννητριών, βλέπουμε ότι διορθώνεται άμεσα το πρόβλημα της ανισοκατανομής της φορτίσεως και καθιστά αρκετά πιο εύκολη και αποδοτική τη δουλειά των αυτόματων συστημάτων ελέγχου του επιμερισμού.

Όπως αποδείχθηκε εκ των υστέρων στην πράξη, το πραγματικό πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε στο πλοίο στο οποίο πραγματοποιήσαμε τις μετρήσεις που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω, διορθώθηκε άμεσα με την ρύθμιση των στατισμών των γεννητριών, πράγμα το οποίο επιβεβαιώνει την ορθότητα των υπολογισμών και των συμπερασμάτων μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βουρνά Κ., Πρωτονάριου Ν. (1993), «ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- [2] Βουρνά Κ., Παπαδιά Β. (1991), «ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗΣ», Εκδόσεις Παπαδάμη
- [3] Κουρτέση Χ. (1998), «ΕΝΕΡΓΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΟΙΟΥ», Πειραιάς
- [4] Ξανθόπουλος Η. (Σεπτέμβριος 2007), «ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ & ΑΕΡΓΟΥ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ & ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΑΞΟΝΑ», Διπλωματική Εργασία
- [5] Παύλου Ι. (Ιανουάριος 2004), «ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΑΞΟΝΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ», Διπλωματική Εργασία
- [6] Προυσαλίδης Ι. (Ιούλιος 2003), «ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑΣ», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
- [7] Προυσαλίδης Ι. (Ιανουάριος 2006), «ΠΟΡΙΣΜΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΙΣΟΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΝΕΡΓΩΝ & ΑΕΡΓΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΤΟΥ ΠΓΥ ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ ΤΟΥ ΠΝ»
- [8] Προυσαλίδης Ι., Ιωαννίδης Ι. (2003), 3^η Εργαστηριακή Άσκηση 9^ο Εξαμήνου, «ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟΥ ΖΕΥΓΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ».
- [9] HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES Co. Ltd., «Shaft Generator System, Instruction Manual», FUJI ELECTRIC Co. Ltd.
- [10] HVDC Manitoba Research Center (2006), “PSCAD User’s Manual”
- [11] MAN B&W (2004), «Shaft Generators Power Take Off from the Main Engine».
- [12] MATLAB: The Mathworks Inc. Matlab User’s Guide, (2004)
- [13] TAIYO ELECTRIC Co. Ltd., «Instruction Manual for Shaft Generator System».

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Ιωάννη Προυσαλίδη για την συνεχή βοήθεια και συμπαράσταση του. Χωρίς αυτόν η παρούσα εργασία δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον συνάδελφο μου, στη σχολή Ναυπηγών Μηχ. Μηχ., Ηλία Γ. Ξανθόπουλο για την συνεργασία μας στην αποπεράτωση της παρούσας εργασίας. Η ηθική και υλική συμβολή του ήταν υπερπολύτιμη.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ελληνικό Πολεμικό Ναυτικό και τα Ναυπηγεία Ελευσίνας για την ουσιαστική βοήθεια που μας παρείχαν, στην αρχή αλλά και κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΣ ΦΥΛΛΩΝ EXCEL

1. Αρχεία “Program 1”

Στα αρχεία «Program 1 (Case X)» υπολογίζονται και παρουσιάζονται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ρύθμιση ανεξάρτητα για την ενεργό και την άεργο ισχύ.

1.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΝΟΜΑΤΟΣ

Το όνομα των φύλλων δόθηκε με βάση την ευκολότερη κατανόηση των περιεχομένων και αναλύεται ως εξής:

ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ ΟΝΟΜΑΤΟΣ:

- **(P)** Αυτορύθμιση και Δευτερεύουσα ρύθμιση της ενεργού ισχύος για την κατάσταση παραλληλισμού.
- **Δοκιμές** Επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία παρατηρούνται οι ταλαντώσεις που εμφανίζονται στις συχνότητες κάθε γεννήτριας μέχρι την τελική σταθεροποίηση τους κοντά στην επιθυμητή συχνότητα που έχουμε ορίσει.
- **(Q)** Αυτορύθμιση και Δευτερεύουσα ρύθμιση της αέργου ισχύος για την κατάσταση παραλληλισμού.

ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ ΟΝΟΜΑΤΟΣ

Στο δεύτερο μέρος του ονόματος περιγράφεται το σενάριο το οποίο υπολογίζεται στο συγκεκριμένο φύλλο, δηλαδή ο συνδυασμός γεννητριών που βρίσκονται εν παραλλήλω:

- **6** Και οι 6 γεννήτριες σε παραλληλισμό, 4 Diesel και 2 αξονικές.
- **S1+S6** Μόνο οι δύο αξονικές (Shaft 1, Shaft 2).
- **S+D** Μια diesel γεννήτρια και μία αξονική.
- **S1+S6+2xD** Δύο αξονικές και δύο diesel γεννήτριες.

1.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ακολουθείται μια γενικευμένη μορφή μεταξύ των αρχείων μας για την εισαγωγή δεδομένων όπου τα νούμερα που χρειάζεται κάθε φορά να συμπληρωθούν από τον χρήστη βρίσκονται στα χρωματισμένα κελιά όπως περιγράφεται παρακάτω.

Φύλλα ενεργούς ισχύος:

ΧΡΩΜΑ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ
Κίτρινο	Τιμές του βαθμού αναλογίας (στατισμοί – x_p) της εκάστοτε γεννήτριας
Πράσινο	Ονομαστική ισχύς για τις αξονικές και Diesel γεννήτριες
Ροζ	Η συχνότητα της κάθε γεννήτριας f_L (Set Points)
Γαλάζιο	Κοινή Συχνότητα λειτουργίας f
Πορτοκαλί	Συνολικό Φορτίο που παραλαμβάνει το σύστημα γεννητριών

Φύλλα αέργου ισχύος:

ΧΡΩΜΑ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ
Κίτρινο	Τιμές του βαθμού αναλογίας (στατισμοί – x_Q) της εκάστοτε γεννήτριας
Ροζ	Οι τιμές της ΗΕΔ της κάθε γεννήτριας E_K (Set Points)
Γαλάζιο	Κοινή Τάση λειτουργίας V
Πορτοκαλί	Συνολικό Φορτίο που παραλαμβάνει το σύστημα γεννητριών

Στο φύλλο δοκιμών, πρέπει να συμπληρωθούν χειροκίνητα τα κελιά με κόκκινο φόντο στα οποία μπαίνουν οι τιμές της προηγούμενης επανάληψης, στρογγυλοποιημένες στο πρώτο δεκαδικό (ανάλογα με την «απαιτούμενη» ακρίβεια) όπως επίσης και τα set points για τις συχνότητες των γεννητριών στα κελιά χρώματος ροζ.

2. Αρχεία “Program 2”

Στα αρχεία «Program 2 (Case X)» υπολογίζονται και παρουσιάζονται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ συναρτήσει η μια της άλλης και για τις έξι γεννήτριες σε παραλληλισμό.

2.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΝΟΜΑΤΟΣ

Το όνομα των φύλλων δόθηκε με βάση την ευκολότερη κατανόηση των περιεχομένων και αναλύεται ως εξής:

ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ ΟΝΟΜΑΤΟΣ:

- **(Auto)** Αυτορύθμιση της ενεργού και αέργου ισχύος για την κατάσταση παραλληλισμού και των έξι γεννητριών.
- **Secondary** Δευτερεύουσα ρύθμιση της ενεργού και αέργου ισχύος για την κατάσταση παραλληλισμού και των έξι γεννητριών.

ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ ΟΝΟΜΑΤΟΣ

Στο δεύτερο μέρος του ονόματος περιγράφεται ο αριθμός των επαναλήψεων των δοκιμών που εκτελούνται για την εξισορρόπηση του συστήματος μας, π.χ. στο φύλλο Auto (1-4) γίνονται οι τέσσερις πρώτες επαναλήψεις για την αυτορύθμιση του συστήματος μας.

2.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ακολουθείται μια γενικευμένη μορφή μεταξύ των αρχείων μας για την εισαγωγή δεδομένων όπου τα νούμερα που χρειάζεται κάθε φορά να συμπληρωθούν από τον χρήστη βρίσκονται στα χρωματισμένα κελιά όπως περιγράφεται παρακάτω.

ΧΡΩΜΑ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ
Κίτρινο	Τιμές του βαθμού αναλογίας (στατισμοί – x_p, x_Q) της εκάστοτε γεννήτριας
Πράσινο	Ονομαστική ισχύς για τις αξονικές και Diesel γεννήτριες
Ροζ	Η συχνότητα f_L και η ΗΕΔ της κάθε γεννήτριας E_K (Set Points)
Γαλάζιο	Κοινή Συχνότητα λειτουργίας f
Πορτοκαλί	Συνολικό Φορτίο (ενεργό και άεργο) που παραλαμβάνει το σύστημα γεννητριών
Καφέ	Αποτελέσματα του αρχείου “Program 1.xls” για το σενάριο παραλληλισμού και των έξι γεννητριών
Κόκκινο	Αρχικές τιμές μας για να ξεκινήσει η πρώτη δοκιμή

3. Επεξήγηση εξεταζόμενων περιπτώσεων (Cases)

3.1. Case 1 – Real Conditions

Στην πρώτη περίπτωση (Case 1) υπολογίζονται και παρουσιάζονται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ, με στατισμούς των οποίων οι τιμές έχουν προκύψει από πραγματικές μετρήσεις που έγιναν στα πλαίσια εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

3.2. Case 2 - Tuned

Στην δεύτερη περίπτωση (Case 2) υπολογίζονται και παρουσιάζονται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ για το συνολικό μας σύστημα, και με τις 6 γεννήτριες δηλαδή, στις οποίες έχουν ρυθμιστεί οι στατισμοί να είναι στο 3%.

3.3. Case 3 – 100% Load

Στην τρίτη περίπτωση (Case 3) υπολογίζονται και παρουσιάζονται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ για το συνολικό μας σύστημα, και με τις 6 γεννήτριες δηλαδή, στις οποίες έχουν ρυθμιστεί οι στατισμοί να είναι στο 3% και το συνολικό φορτίο είναι στο 100% της συνολικής ισχύς των γεννητριών μας.

3.4. Case 4 – 50% Load

Στην τέταρτη περίπτωση (Case 4) υπολογίζονται και παρουσιάζονται σε στατικό επίπεδο, η πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ρύθμιση για την ενεργό και την άεργο ισχύ για το συνολικό μας σύστημα, και με τις 6 γεννήτριες δηλαδή, στις οποίες έχουν ρυθμιστεί οι στατισμοί να είναι στο 3% και το συνολικό φορτίο είναι στο 50% της συνολικής ισχύς των γεννητριών μας.