



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μοντελοποίηση και Ανάλυση της Δυναμικής
Ευστάθειας της HVDC Διασύνδεσης της Κρήτης με
το Κεντρικό Δίκτυο**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Π. Πετρόπουλος

Επιβλέπων : Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μοντελοποίηση και Ανάλυση της Δυναμικής
Ευστάθειας της HVDC Διασύνδεσης της Κρήτης με
το Κεντρικό Δίκτυο**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Π. Πετρόπουλος

Επιβλέπων : Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....

Ν. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Σ. Παπαθανασίου
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Π. Γεωργιάκης
Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2013

.....

Δημήτριος Π. Πετρόπουλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Δημήτριος Π. Πετρόπουλος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή κ. Ν. Χατζηαργυρίου για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και για τις διεισδυτικές και χρήσιμες παρατηρήσεις του που αποτέλεσαν το έναυσμα για περαιτέρω έρευνα και προσπάθεια.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω επίσης στον διδάκτορα κ. Ε.Βουμβουλάκη για την πρόθυμη ανταπόκρισή του στα συνεχή μου αιτήματα για βοήθεια. Με τη διαρκή ανταλλαγή απόψεων με βοήθησε να αποκτήσω την απαραίτητη υποδομή για την θεωρητική και πρακτική προσέγγιση, επεξεργασία και αξιοποίηση ενός τεράστιου σε σύνθεση και ποικιλία υλικού. Η συνεργασία του υπήρξε πολύτιμη για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την επίδραση που θα έχει στη δυναμική ευστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης η σύνδεση του νησιού με το διασυνδεδεμένο Σύστημα. Η σύνδεση πραγματοποιείται με Συνεχές Ρεύμα Υψηλής Τάσης και η μοντελοποίηση της διασύνδεσης αλλά και του συστήματος του νησιού έγινε στο πακέτο λογισμικού PowerFactory της DigSilent. Οι προσομοιώσεις διεξάγονται για να μελετηθεί η επίδραση διάφορων σφαλμάτων στην ευστάθεια συχνότητας και τάσης του συστήματος, ενώ αυτό βρίσκεται σε διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης.

Στο κεφάλαιο 2 εξηγείται η τεχνολογία της σύνδεσης με Συνεχές Ρεύμα Υψηλής Τάσης και δίνεται περισσότερο βάρος στην εξήγηση της τεχνολογίας μετατροπών πηγής τάσης που χρησιμοποιήθηκε.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το σύστημα της Κρήτης αναφέρονται τα βασικά στοιχεία που το απαρτίζουν, οι παραγωγές, τα φορτία της και οι ΑΠΕ.

Στο κεφάλαιο 4 δίνονται κάποια πλεονεκτήματα που θα έχει η διασύνδεση και παρουσιάζονται στοιχεία από προηγούμενες έρευνες σχετικά με το θέμα.

Το κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει τη μοντελοποίηση της διασύνδεσης και του ΣΗΕ της Κρήτης, ενώ εξηγούνται και οι μέθοδοι ελέγχου μαζί με τα αντίστοιχα σχήματα.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τα διάφορα σενάρια φόρτισης και διασύνδεσης.

Στο κεφάλαιο 7 γίνεται η αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων, καθώς και προτάσεις για επιπλέον μελέτες πάνω στο θέμα της διασύνδεσης.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the connection of the island of Crete with mainland power system of Greece and the effects of that connection to the dynamic stability. High Voltage Direct Current technology is utilized for this connection. The modeling of the system and interconnection is done with the help of the PowerFactory software package from DigSilent. Simulations are conducted to study the effect of various faults on the stability of the frequency and voltages of the system in different modes of operation.

In chapter 2, the technology of the HVDC connection is explained, and more emphasis is put on the technology of the voltage source converters that were used.

In chapter 3, the power system of Crete and its basic components, such as power production, loads and renewables, are presented.

Chapter 4 contains some advantages that the interconnection will bring to this case, as well as useful data from relevant studies.

In chapter 5, the modeling of the interconnection and Crete's power system is presented. The control methods are also explained.

In chapter 6, the results of the simulations are presented.

In chapter 7, the above results are assessed and topics for further research are suggested.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	-3-
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας	-3-
1.2 Η εξέλιξη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.....	-4-
1.3 Ηλεκτρική διασύνδεση συστημάτων	-4-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	-7-
Η HVDC Διασύνδεση	
2.1 Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας με συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης.....	-7-
2.1.1 Κόστος μιας γραμμής διασύνδεσης HVDC.....	-9-
2.1.2 Παραδείγματα έργων διασύνδεσης με VSC-HVDC.....	-9-
2.2 Τεχνολογία μετατροπέων HVDC	-10-
2.2.1 Μετατροπείς Πηγής Ρεύματος.....	-12-
2.2.2 Λειτουργία μετατροπέων πηγής ρεύματος	-13-
2.2.3 Μετατροπείς πηγής τάσης.....	-14-
2.2.4 Λειτουργία μετατροπέων πηγής τάσης	-18-
2.2.5 Διαμόρφωση εύρους παλμών.....	-22-
2.3 Τεχνολογία μετατροπέων HVDC	-23-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	-29-
Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης	
3.1 Εισαγωγή.....	-29-
3.2 Ομοιότητες και διαφορές με άλλα νησιωτικά συστήματα.....	-30-
3.3 Συμβατικοί σταθμοί παραγωγής	-32-
3.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	-33-
3.4.1 Αιολικά Πάρκα	-34-
3.4.2 Φωτοβολταϊκά Πάρκα	-37-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	-39-
Ιστορικό διασύνδεσης και σχετικές μελέτες	
4.1 Ιστορικό της διασύνδεσης.....	-39-
4.2 Στόχοι και οφέλη της διασύνδεσης.....	-40-
4.3 Μελέτη ΡΑΕ-ΔΕΣΜΗΕ	-41-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	-47-
Μοντελοποίηση και έλεγχος της HVDC διασύνδεσης και του συστήματος της Κρήτης	
5.1 Το κύκλωμα του HVDC συνδέσμου.....	-47-
5.2 Ο έλεγχος του HVDC συνδέσμου.....	-51-
5.3 Η μοντελοποίηση του ΣΗΕ της Κρήτης	-54-
5.3.1 Τα σενάρια	-55-
5.3.2 Το σύστημα μεταφοράς της Κρήτης.....	-57-
5.3.3 Τα φορτία.....	-61-
5.3.4 Οι σταθμοί παραγωγής.....	-62-
5.3.5 Καθορισμός αποδεκτών ορίων συχνότητας και τάσης.....	-63-
5.4 Ο έλεγχος του ΣΗΕ της Κρήτης	-63-
5.4.1 Ευστάθεια	-63-
5.4.2 Ρυθμιστές στροφών και ρυθμιστές τάσης.....	-65-
5.4.3 Το μοντέλο ελέγχου των σταθμών παραγωγής.....	-71-
5.4.4 Η προστασία των αιολικών.....	-76-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	-77-
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ	
6.1 Απομονωμένη λειτουργία (χωρίς διασύνδεση).....	-77-
6.1.1 Σενάριο 1.....	-77-
6.1.2 Σενάριο 2.....	-102-
6.1.3 Σενάριο 3.....	-121-
6.2 Λειτουργία με διασύνδεση και κανονική παραγωγή στο νησί	-137-
6.2.1 Σενάριο 1.....	-137-
6.2.2 Σενάριο 2.....	-159-
6.2.3 Σενάριο 3.....	-177-
6.3 Λειτουργία με διασύνδεση και με τροποποιημένη παραγωγή στο νησί.....	-189-
6.3.1 Σενάριο 1.....	-189-
6.3.2 Σενάριο 2.....	-201-
6.3.3 Σενάριο 3.....	-218-
6.4 Υλοποίηση με dc πηγή.....	-230-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	-231-
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
7.1 Σύνοψη	-231-
7.2 Περαιτέρω έρευνα	-232-
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	-235-
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	-242-

1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μελέτη της διασύνδεσης της Κρήτης με το ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μέσω Συνεχούς Ρεύματος Υψηλής Τάσης (HVDC). Θα μοντελοποιηθεί η γραμμή διασύνδεσης HVDC καθώς και ολόκληρο το σύστημα της Κρήτης σε απλοποιημένη μορφή. Η σύνδεση θα πραγματοποιηθεί με απευθείας γραμμή από το Λαύριο μέχρι την Κορακιά.

Θα εξεταστεί η δυναμική ευστάθεια της συχνότητας και της τάσης του συστήματος, καθώς και τη μεγαλύτερη δυνατότητα αιολικής διείσδυσης που μπορεί να παρέχει το HVDC σύστημα σε διάφορες συνθήκες. Εξετάζουμε, πιο συγκεκριμένα, τη δυναμική ευστάθεια κατά τις ακόλουθες διαταραχές:

- ❖ Απώλεια σταθμού παραγωγής
- ❖ Βραχυκυκλώματα σε ζυγό

Στη μοντελοποίηση του συστήματος της Κρήτης θα προστεθούν επίσης μοντέλα ανεμογεννητριών, ώστε να μελετηθεί η επίδρασή και αυτών στην ανωτέρω συνδεσμολογία.

Επομένως, στόχος είναι η μελέτη της τοπολογίας της διασύνδεσης και η εξέταση της επίδρασης που θα έχει αυτή στη δυναμική ευστάθεια του συστήματος του νησιού.

Το περιεχόμενο της εργασίας χωρίζεται στα εξής κεφάλαια:

- **Κεφάλαιο 1:** Εισαγωγή της διπλωματικής
- **Κεφάλαιο 2:** Παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας της HVDC διασύνδεσης, καθώς και των διαφορετικών τρόπων υλοποίησής της αλλά και των εφαρμογών της.
- **Κεφάλαιο 3:** Παράθεση στοιχείων για το σύστημα της Κρήτης (σταθμοί παραγωγής, φορτία, ανεμογεννήτριες κ.α) και εξήγηση του στησίματος που έγινε στο σύστημα για την παρούσα διπλωματική.
- **Κεφάλαιο 4:** Αναφορά σε στοιχεία οικονομοτεχνικών αναλύσεων που αφορούν τη διασύνδεση με την Κρήτη, καθώς και παρουσίαση του ιστορικού αυτής.
- **Κεφάλαιο 5:** Έκθεση του κυκλώματος που σχεδιάστηκε για τη μοντελοποίηση της διασύνδεσης, αλλά και του κυκλώματος της Κρήτης. Ανάλυση του τρόπου ελέγχου των μετατροπέων και ολόκληρης της μοντελοποίησης του HVDC στο Powerfactory. Παρουσιάζονται και οι

τεχνικές ελέγχου που εφαρμόζονται στις γεννήτριες των σταθμών παραγωγής της Κρήτης.

- **Κεφάλαιο 6:** Παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη μοντελοποίηση της HVDC διασύνδεσης και του συστήματος της Κρήτης. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η διαδικασία της προσομοίωσης και παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις των ελεγχόμενων μεταβλητών για διάφορα σενάρια.
- **Κεφάλαιο 7:** Παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που μπορούμε να πάρουμε από τη μελέτη της διπλωματικής. Προτείνονται, επίσης, περαιτέρω δοκιμές/έρευνα/μοντελοποίηση που παρουσιάζει ενδιαφέρον στο συγκεκριμένο ζήτημα.

1.2 Η εξέλιξη των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η εικόνα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας έχει αλλάξει δραστικά τα τελευταία χρόνια, κυρίως εξαιτίας της απελευθέρωσης της αγοράς αλλά και της ενσωμάτωσης της διεσπαρμένης παραγωγής. Αν ληφθεί υπ' όψη ο όλο και περισσότερο διασυνδεδεμένος χαρακτήρας των επιμέρους δικτύων, είναι φανερό πως πλέον η ροή ισχύος έχει γίνει λιγότερο προβλέψιμη και ο συντονισμός ενός τέτοιου δικτύου (αλλά και μεταξύ δικτύων) να γίνεται αρκετά πιο σύνθετος. Κοιτώντας προς το μέλλον, είναι βέβαιο πως η πολυπλοκότητα των συστημάτων θα συνεχίσει να αυξάνεται, με κλασικό παράδειγμα το συνδυασμό του κλάδου των τηλεπικοινωνιών με αυτού της ενέργειας για την ανάπτυξη των γνωστών smart grids.

Η πρόοδος αυτή των ΣΗΕ οφείλεται κυρίως στη ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρονικών ισχύος, η οποία έχει αντικαταστήσει σε πολλές περιπτώσεις κλασικές ηλεκτρομηχανικές διατάξεις με πιο εξελιγμένες και αποδοτικές λύσεις, όπως είναι λόγω χάρη τα FACTS (Flexible AC Transmission System). Οι διατάξεις αυτές αποτελούν στατικό εξοπλισμό και χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της δυνατότητας ελέγχου και την αύξηση της ικανότητας μεταφοράς ισχύος ενός συστήματος. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται με αυξανόμενο ρυθμό και αυτές οι συσκευές ρύθμισης ενσωματώνονται σε όλο και περισσότερα συστήματα, αναμένεται η λειτουργία των ΣΗΕ να καθορίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τα ηλεκτρονικά ισχύος.

1.3 Ηλεκτρική Διασύνδεση Συστημάτων

Μια από τις σημαντικές συνεισφορές της εξέλιξης της τεχνολογίας είναι η δυνατότητα σύνδεσης συστημάτων με περισσότερο έλεγχο της μεταδιδόμενης ισχύος ανάμεσά τους. Στην Ευρώπη έχουν ήδη πραγματοποιηθεί πολλά έργα διασύνδεσης HVDC μεταξύ χωρών, αλλά και συνδέσεις με off shore αιολικά πάρκα, όπως γίνεται στη Βόρεια Θάλασσα.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα όπου η διασύνδεση οποιασδήποτε μορφής παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω του μεγάλου αριθμού νησιών. Επειδή δεν έχει υπάρξει εκτενής διασύνδεση μέχρι στιγμής, ένα κύριο χαρακτηριστικό του δικτύου

της Ελλάδας είναι η ύπαρξη πολλών αυτόνομων συστημάτων. Η πλειοψηφία των νησιών του Αιγαίου δεν τροφοδοτούνται από το δίκτυο, αλλά από Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής (γεννήτριες Diesel) που βρίσκονται στο ίδιο το νησί. Αυτό αποτελεί μεγάλο πρόβλημα, καθώς αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι αντιοικονομικός.

Το αυξημένο κόστος οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το πετρέλαιο, που χρησιμοποιείται στα περισσότερα νησιά ως καύσιμο είναι αρκετά ακριβό, ενώ ο λιγνίτης (του οποίου διαθέτουμε πλούσια αποθέματα στην Ελλάδα και αποτελεί το βασικό καύσιμο για το ηπειρωτικό δίκτυο) είναι πολύ πιο οικονομικός. Στο αρχικό κόστος αγοράς του πετρελαίου πρέπει να προστεθεί και το διόλου ευκαταφρόνητο κόστος μεταφοράς του καυσίμου στον τόπο κατανάλωσης του. Τα έξοδα για τα μεταφορικά εξαρτώνται άμεσα από τη διεθνή τιμή του πετρελαίου, με αποτέλεσμα όσο ανεβαίνει η τιμή του να φτάνει στα ύψη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά.

Οι παραπάνω λόγοι είναι οι κύριοι παράγοντες που αυξάνουν την τιμή της κιλοβατώρας στα νησιά σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή για την ηπειρωτική Ελλάδα. Το παραπάνω κόστος αυτό, σε συνδυασμό με το κόστος για την παροχή ρεύματος σε ειδικές τιμές για τις ευπαθείς ομάδες, αποτελούν το τέλος Υπηρεσιών Κοινής Ωφέλειας που πληρώνει κάθε καταναλωτής. Είναι εύλογο επομένως να εξεταστεί πως θα ωφελούσε η διασύνδεση στα παραπάνω προβλήματα.

Όσο περισσότερο διασυνδεδεμένο είναι το δίκτυο μιας χώρας, τόσο μεγαλύτερη ευχέρεια υπάρχει στη διαχείριση του με τον οικονομικότερα δυνατό τρόπο. Ένα σχετικό παράδειγμα είναι οι ανεμογεννήτριες, χαρακτηριστικό των οποίων είναι η αναξιοπιστία στην σταθερή παραγωγή ισχύος λόγω της μη συνεχούς και σταθερής διαθεσιμότητας της πρώτης ύλης. Αν όμως είναι συνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο όλες οι Κυκλάδες και η Κρήτη, νησιά τα οποία διαθέτουν πληθώρα αιολικού δυναμικού, τότε στατιστικά, λόγω της γεωγραφικής διασποράς, σίγουρα ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού φορτίου της χώρας μπορεί να καλυφθεί από τα αιολικά. Στην αντίθετη περίπτωση, οι ανεμογεννήτριες πιθανόν να μη μπορούσαν καν να αποδώσουν όλη τη διαθέσιμη αιολική ισχύ, αφού τα νησιά είναι ήδη κορεσμένα και μόνο ένα ποσοστό του συνολικού φορτίου μπορεί να καλυφθεί από αυτές.

Με τη διασύνδεση δηλαδή, η βάση (ή τουλάχιστον το μεγαλύτερο ποσοστό της) του φορτίου των νησιών θα καλύπτεται από το ηπειρωτικό δίκτυο, με αποτέλεσμα να μειώνεται στο ελάχιστο η λειτουργία των δαπανηρών και σε πολλές περιπτώσεις απαρχαιωμένων σταθμών στα νησιά. Παράλληλα γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση των ήδη υπαρχόντων αιολικών εγκαταστάσεων.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι η λύση στο πρόβλημα της αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης των νησιών από τους τοπικούς σταθμούς παραγωγής, αφού οι τελευταίοι στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν περιορισμένες δυνατότητες ανάπτυξης. Η μεγάλη αιχμή που παρατηρείται στη ζήτηση των νησιών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες γίνεται ολόένα και πιο δύσκολο να καλυφθεί. Περιστατικά σαν αυτό που συνέβη τον περασμένο Αύγουστο στη Σαντορίνη είναι βέβαιο πως θα επαναληφθούν.

Εν πάση περιπτώσει, καθίσταται προφανές ότι ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο θα ωφελούσε το σύνολο των καταναλωτών, και όχι μόνο τους κατοίκους των νησιών. Βέβαια, η διασύνδεση των νησιών με το κεντρικό δίκτυο είναι ένα δύσκολο έργο, στον οικονομικό αλλά και στον τεχνικό τομέα. Απαιτείται αναλυτική μελέτη της κάθε περίπτωσης ξεχωριστά, ώστε να βρεθεί η οικονομικά και τεχνικά βέλτιστη λύση. Αφού επιλεγθεί ο τρόπος διασύνδεσης, πρέπει να ακολουθήσουν εκτενείς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

προσομοιώσεις του νησιού που πρόκειται να συνδεθεί σε διάφορες καταστάσεις, ώστε να εκτιμηθεί η επίδραση που θα έχει η σύνδεση.

2. Η HVDC διασύνδεση

2.1 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας με Συνεχές Ρεύμα Υψηλής Τάσης

Ως γνωστόν, η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται με ρεύμα υψηλής τάσης, αφού έτσι επιτυγχάνεται η μέγιστη ενεργειακή μεταφορά για δεδομένη διατομή αγωγών. Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν δύο είδη συστημάτων μεταφοράς: το σύστημα με το εναλλασσόμενο ρεύμα (HVAC) και το σύστημα με το σταθερό ρεύμα (HVDC). Η συντριπτική πλειοψηφία των συστημάτων μεταφοράς χρησιμοποιούν HVAC, όμως υπάρχουν περιπτώσεις που η χρήση του HVDC είναι πιο συμφέρουσα.

Συγκεκριμένα, το HVDC χρησιμοποιείται κυρίως για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις με εναέριες ή υποβρύχιες γραμμές. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι πως οι γραμμές παρουσιάζουν και χωρητική συμπεριφορά (η οποία είναι πιο έντονη στα υποβρύχια καλώδια) και με το AC ρεύμα οι χωρητικότητες αυτές φορτίζονται και εκφορτίζονται συνεχώς με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες ενέργειας. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί στην ανάγκη για σταθμούς αντιστάθμισης κατά μήκος των γραμμών. Αντιθέτως, όταν το ρεύμα είναι συνεχές, οι χωρητικότητες φορτίζονται μόνο κατά την εκκίνηση της λειτουργίας και σε περίπτωση μεταβολής της τάσης.

HVDC συστήματα χρησιμοποιούνται και για τη σύνδεση δυο συστημάτων διαφορετικής συχνότητας ή για την ενίσχυση ενός δικτύου που έχει υπερφορτωθεί.

Συνοψίζοντας, τα κύρια πλεονεκτήματα της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με HVDC τεχνολογία είναι:

- Δεν χρειάζεται καμία αντιστάθμιση ισχύος. Συνεπώς δεν απαιτείται κατασκευή σταθμών αντιστάθμισης ισχύος, κάτι το οποίο οδηγεί στη μείωση του κόστους.
- Οι απώλειες ενός HVDC συστήματος είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες σε ένα AC. Συγκεκριμένα κυμαίνονται στο 3.5% ανά 1000 km^[10]. Αυτό σημαίνει εξοικονόμηση ενέργειας άρα και χρημάτων.
- Ένα HVDC σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιο εύκολα για τη βελτίωση της ευστάθειας ενός δικτύου, αφού ένας DC σύνδεσμος αποσυμπλέκει τα δύο AC δίκτυα στα άκρα του, εμποδίζοντας επομένως τη μετάδοση των επιπτώσεων ενός σφάλματος από ένα δίκτυο στο άλλο. Απότομες μεταβολές σε φορτία που θα ανάγκαζαν μεγάλο τμήμα του AC δικτύου να αποσυγχρονιστεί και να βγει εκτός, δεν επηρεάζουν το DC σύνδεσμο, ο οποίος, με τον κατάλληλο έλεγχο, θα μπορούσε να επαναφέρει το σύστημα.
- Τα HVDC συστήματα προσφέρουν τη δυνατότητα γρήγορου ελέγχου της ποσότητας αλλά και της φοράς της ισχύος που τα διαρρέουν. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρονικά ισχύος που ενσωματώνονται στη μετατροπή AC/DC.

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα πως το HVDC δίκτυο, παρά το υπολογίσιμο κόστος των μετατροπέων, μπορεί εν τέλει να είναι πιο οικονομικό από ένα αντίστοιχο AC, ειδικά όταν το έργο αφορά την μεταφορά μεγάλων ποσών ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Εν γένει, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων σύνδεσης, τόσο μικρότερες είναι οι απώλειες (απόλυτο μέγεθος) σε σύγκριση με το AC και επομένως τόσο πιο ελκυστικότερη οικονομικά γίνεται η επένδυση σε HVDC.

Παρά τα αναμφισβήτητα θετικά τους σημεία, τα HVDC δίκτυα παρουσιάζουν και αρκετά μειονεκτήματα, στα οποία οφείλεται η μέχρι τώρα περιορισμένη τους χρήση. Συγκεκριμένα:

- είναι λιγότερο αξιόπιστα και παρουσιάζουν λιγότερη διαθεσιμότητα από τα συμβατικά AC δίκτυα, κυρίως λόγω του επιπρόσθετου εξοπλισμού των μετατροπέων. Τα μονοπολικά συστήματα (θα τα εξετάσουμε παρακάτω) παρουσιάζουν διαθεσιμότητα 98.5%, με μεγάλο κομμάτι του χρόνου μη λειτουργίας (περίπου το ένα τρίτο) να είναι μη προγραμματισμένος λόγω σφαλμάτων. Τα διπολικά συστήματα, που είναι πιο ανθεκτικά στα σφάλματα, δίνουν πολύ υψηλή διαθεσιμότητα για τη μισή δυνατότητα μεταφοράς, ενώ για το 100% της δυνατότητας η διαθεσιμότητα είναι 97-98%.
- Οι απαιτούμενοι μετατροπείς έχουν υψηλό κόστος και περιορισμένη ικανότητα υπερφόρτωσης. Σε μικρές αποστάσεις μεταφοράς, οι απώλειες στους μετατροπείς ενδέχεται να είναι μεγαλύτερες από μια γραμμή μεταφοράς AC, με αποτέλεσμα το κόστος τους πιθανώς να μην αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση στην κατασκευή των γραμμών και στις απώλειες.
- Η λειτουργία μιας γραμμής HVDC απαιτεί να υπάρχει μεγάλη εφεδρεία σε εξοπλισμό και μάλιστα σχεδόν αποκλειστικά για ένα δεδομένο σύστημα, κάτι το οποίο οφείλεται κυρίως στη λιγότερη χρήση των HVDC σε σχέση με τα συμβατικά AC συστήματα, αλλά και στην γρηγορότερη εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος.
- Σε αντίθεση με τα AC συστήματα, η πραγματοποίηση ενός πολυτερματικού HVDC δικτύου είναι πολύπλοκη, καθώς και η επέκταση ήδη υπαρχόντων δικτύων σε πολυτερματικά. Η δυσκολία αυτή έγκειται κυρίως στο ότι η σωστή λειτουργία ενός τέτοιου δικτύου απαιτεί κατάλληλη επικοινωνία μεταξύ των τερματικών. Η ροή ισχύος πρέπει να ελέγχεται ενεργά από το σύστημα ελέγχου του μετατροπέα αντί αυτή να καθορίζεται από τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής.
- Η κατασκευή HVDC διακοπών είναι δύσκολη, αφού πρέπει συμπεριληφθεί κάποιος μηχανισμός που να μηδενίζει το ρεύμα ώστε να γίνει η διακοπή, αλλιώς η δημιουργία τόξων θα προκαλούσε μεγάλη φθορά στις επαφές και δε θα ήταν δυνατή η αξιόπιστη διακοπή του ρεύματος.

2.1.1 Κόστος μιας γραμμής διασύνδεσης HVDC

Γενικά το κόστος των εγκαταστάσεων δεν συνηθίζεται να κοινοποιείται από τις εταιρείες που αναλαμβάνουν τα έργα, κάτι που σημαίνει πως είναι σχεδόν αδύνατον να γνωρίζουμε το ακριβές ποσό που απαιτείται για την κατασκευή και τη λειτουργία των συστημάτων αυτών. Εξάλλου, το συνολικό κόστος των έργων ειδικά όσον αφορά μια HVDC γραμμή ποικίλλουν ανάλογα με συγκεκριμένους παράγοντες του έργου, για παράδειγμα η ονομαστική ισχύς της γραμμής, το μήκος της γραμμής, υπέργεια ή υποθαλάσσια σύνδεση και βελτιώσεις του AC δικτύου στα τερματικά της DC γραμμής. Συνήθως όταν γίνεται διαβούλευση για ένα τέτοιο έργο, πραγματοποιείται σύγκριση του κόστους ανάμεσα σε AC και DC διασύνδεση, ώστε να επιλεγεί το καταλληλότερο πλάνο. Αυτό συμβαίνει πάντοτε στις περιπτώσεις όπου η DC σύνδεση δεν προσφέρει κάποιο καθαρό τεχνικό πλεονέκτημα σε σχέση με την AC και ο οικονομικός παράγοντας είναι αυτός που θα παίξει τον καθοριστικό ρόλο στην απόφαση.

2.1.2 Παραδείγματα έργων διασύνδεσης με VSC-HVDC

Ο αριθμός των HVDC έργων που έχουν πραγματοποιηθεί είναι μεγάλος και η λίστα εκτενής. Για το λόγο αυτό, αλλά κι επειδή θα ασχοληθούμε περισσότερο με τη συγκεκριμένη τεχνολογία, κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν κάποια χαρακτηριστικά έργα που χρησιμοποιούν την VSC τεχνολογία. Μέχρι στιγμής, μόνο δώδεκα έργα τέτοιας τεχνολογίας είναι σε λειτουργία. Τα περισσότερα εξ αυτών έχουν υποβρύχια καλώδια, αλλά κάποια συμπεριλαμβάνουν υπόγεια καλώδια μεγάλου μήκους.

Πίνακας 1: Συστήματα μεταφοράς συνεχούς ρεύματος με μετατροπείς πηγής τάσης

Εφαρμογή	Ονομαστικά Χαρακτηριστικά	Τεχνολογία μετατροπέα	Λόγοι χρήσης VSC	Τύπος ελέγχου	Έναρξη λειτουργίας
Gotland light (Σουηδία)	50 MW / ± 30 MVA _r , ±80 kV, 2x70 km υπόγεια καλώδια	2 επιπέδων με IGBT – PWM στα 1950 Hz	<ul style="list-style-type: none"> – Σύνδεση ανεμογεννητριών – Περιβαλλοντικοί λόγοι – Υποστήριξη της τάσης 	Έλεγχος ενεργού & αέργου ισχύος, EP τάσης	1999
Tjaereborg (Δανία)	7 MW / 4 MVA _r , ±10 kV, 2x4.3 km υπόγεια καλώδια	2 επιπέδων με IGBT – PWM στα 1950 Hz	<ul style="list-style-type: none"> – Σύνδεση ανεμογεννητριών – Ρύθμιση συχνότητας – Υποστήριξη τάσης 	Απομονωμένου A/Π, συχνότητας, αυτόματη εκκίνηση	2000
Directlink (Αυστραλία)	3x60 MW/±75 MVA _r , ±80 kV, 6x59 km υπόγεια καλώδια	2 επιπέδων με IGBT – PWM στα 1950 Hz	<ul style="list-style-type: none"> – Ασύγχρονη σύνδεση – Τροφοδοσία αδύναμου συστήματος – Περιβαλλοντικοί λόγοι – Αδυναμία απόκτησης άδειας για εναέρια γραμμή 	Έλεγχος ενεργού & αέργου ισχύος, EP τάσης	2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- Η ΗVDC ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ

Eagle Pass (ΗΠΑ)	36 MW / ± 36 MVar, ±15.9 kV, back-to-back	3 επιπέδων με IGBT – PWM στα 1500 Hz	<ul style="list-style-type: none"> – Τροφοδοσία αδύναμου συστήματος – Ασύγχρονη σύνδεση – Υποστήριξη της τάσης 	Έλεγχος ενεργού & αέργου ισχύος, με προτεραιότητα στην αέργο	2000
Cross Sound (ΗΠΑ)	330 MW/ ±75 MVar, ±150 kV, 2x40km υποβρύχια καλώδια	3 επιπέδων με IGBT – PWM στα 1260 Hz	<ul style="list-style-type: none"> – Έλεγχος ισχύος 	Έλεγχος ενεργού & αέργου ισχύος, ΕΡ τάσης, περιορισμός αρμονικών	2002
Murraylink (Αυστραλία)	200 MW/+140 -150 MVar, ±150 kV 2x180 km υπόγεια καλώδια	3 επιπέδων με IGBT – PWM στα 1350 Hz	<ul style="list-style-type: none"> – Ασύγχρονη σύνδεση – Τροφοδοσία αδύναμου συστήματος – Περιβαλλοντικοί λόγοι – Αδυναμία απόκτησης άδειας για εναέρια γραμμή 	Έλεγχος ενεργού & αέργου ισχύος, ΕΡ τάσης, περιορισμός αρμονικών	2002
Troll A (Νορβηγία)	2x40 MW, ±60 kV 70 km υποβρύχια καλώδια		<ul style="list-style-type: none"> – Σύνδεση υπεράκτιας πλατφόρμα – Οδήγηση στροφών Α/Γ στη βέλτιστη τιμή τους – Περιβαλλοντικοί λόγοι 		2005
Estlink (Εσθονία-Φινλανδία)	350 MW, ±150 kV 2x74 km υποβρύχια & 2x31 υπόγεια καλώδια	2 επιπέδων με IGBT – PWM στα 1150 Hz	<ul style="list-style-type: none"> – Ενίσχυση αξιοπιστίας διασυνδεδεμένων συστημάτων – Ασύγχρονη σύνδεση – Ανταλλαγή ηλεκτρικής ισχύος 	Έλεγχος ενεργού & αέργου ισχύος, ΕΡ τάσης	2006

2.2 Τεχνολογία Μετατροπών HVDC

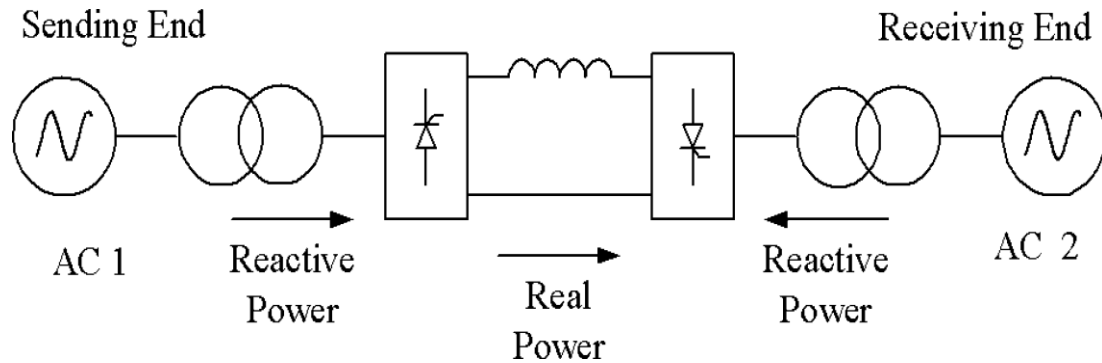
Εν γένει, οι μετατροπείς σε ένα HVDC σύστημα μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες, με βάση τη φύση του DC συνδέσμου:

- 1) CSC, δηλαδή Current Source Converters ή μετατροπείς πηγής ρεύματος. Σε αυτούς το ρεύμα στο DC κύκλωμα παραμένει σε σταθερή τιμή, ενώ η διεύθυνση και η ποσότητα της ενεργού ισχύος που μεταφέρεται καθορίζεται αντίστοιχα από το πρόσημο και το μέτρο της τάσης. Με λίγα λόγια, ο μετατροπέας φαίνεται από την πλευρά του DC δικτύου ως μια σταθερή πηγή ρεύματος που αλλάζει το πρόσημο και το μέτρο της τάσης στα άκρα της ανάλογα με την ισχύ που καλείται να μεταφέρει το HVDC τμήμα του δικτύου.

Σε αυτό το είδος του μετατροπέα χρησιμοποιούνται είτε διακόπτες των οποίων η μεταγωγή εξαρτάται από την AC τάση του δικτύου (line-commutated), είτε διακόπτες των οποίων η μεταγωγή ελέγχεται από άλλα στοιχεία (force-commutated). Επειδή όμως οι πρώτοι χρησιμοποιούνται κατά κόρον στους Current Source Converters, από εδώ και στο εξής θα ακολουθήσουμε για χάριν ευκολίας τη σύμβαση που γίνεται και στα περισσότερα επιστημονικά κείμενα, σύμφωνα με την οποία οι

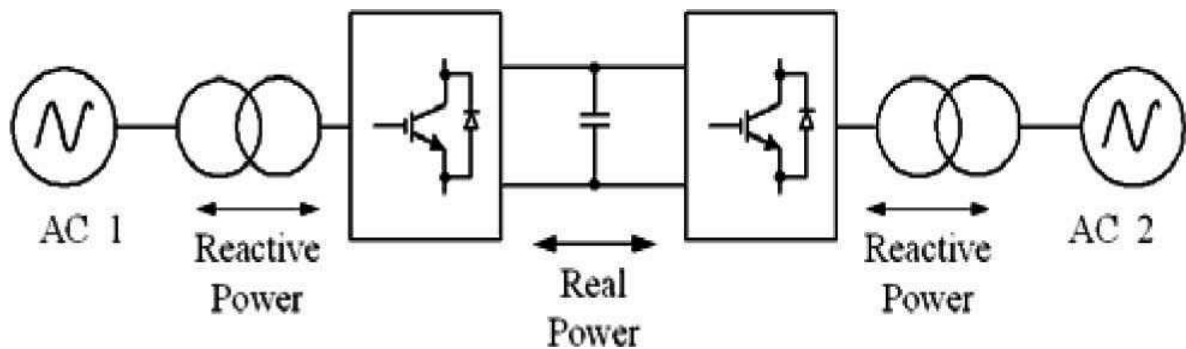
όροι Line Commutated Converter και Current Source Converter είναι ισοδύναμοι, ακόμη κι αν αυτό δεν είναι απόλυτα ακριβές.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι διακόπτες αυτοί απαιτούν την παροχή αέργου ισχύος για την λειτουργία τους, κάτι που αποτελεί ειδοποιό διαφορά ανάμεσα στις δυο τεχνολογίες, όπως θα δούμε και στη συνέχεια.



Εικόνα 1:HVDC σύστημα βασισμένο στην CSC τεχνολογία με θυρίστορ

- 2) VSC, δηλαδή Voltage Source Converters ή μετατροπείς πηγής τάσης. Λειτουργούν με σταθερή τάση και μεταβλητό ρεύμα και είναι ουσιαστικά ελεγχόμενες πηγές σταθερής τάσης. Οι διακόπτες που χρησιμοποιούνται στους μετατροπείς αυτούς είναι μόνο self-commutated (IGBTs, GTOs). Όπως φαίνεται και στο σχήμα παρακάτω, η άεργος ισχύς μπορεί να έχει οποιαδήποτε κατεύθυνση, ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου σε κάθε πλευρά.



Εικόνα 2:HVDC σύστημα βασισμένο στην VSC τεχνολογία με IGBTs

Στη συνέχεια θα μελετηθούν και τα δύο είδη μετατροπέων σε περισσότερο βάθος.

2.2.1 Μετατροπείς Πηγής Ρεύματος

Οι μετατροπείς αυτοί έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Διακοπτικά στοιχεία:

Οι ημιαγωγοί είναι είτε line- είτε force-commutated, όπως είπαμε και παραπάνω. Ο δεύτερος τρόπος μεταγωγής μπορεί να επιτευχθεί, παραδείγματος χάριν, με έναν πυκνωτή σε σειρά, ο οποίος σε κάθε κύκλο θα διακόπτει το ρεύμα που διαρρέει το στοιχείο όταν φορτίζεται. Επίσης, η μεταγωγή γίνεται στη συχνότητα της γραμμής (50 Hz για την Ελλάδα και την Ευρώπη), δηλαδή μόνο μια 'αλλαγή' ανά κύκλο. Η χαμηλή αυτή διακοπτική συχνότητα έχει ως αποτέλεσμα τις χαμηλές απώλειες λόγω μεταγωγής, είναι όμως και ο λόγος για τον οποίο η ac τάση που παράγεται δεν μπορεί να 'πλησιάσει' επαρκώς την ιδανική ημιτονοειδή, κάτι που σημαίνει πως περιέχει υπολογίσιμες αρμονικές σε χαμηλή τάξη. Έτσι οδηγούμαστε στην αναγκαιότητα ύπαρξης μεγάλων φίλτρων που μπορούν να κόψουν αυτές τις χαμηλές αρμονικές και συμβάλλουν στην αύξηση του βάρους και του κόστους της εγκατάστασης. Ενδεικτικά αναφέρεται πως τα AC φίλτρα αρμονικών σε έναν τυπικό σταθμό με μετατροπείς πηγής ρεύματος καλύπτουν περίπου τη μισή από τη συνολική έκταση του σταθμού.

Από τη DC πλευρά του συστήματος:

Λειτουργεί σαν μια σταθερή πηγή ρεύματος (κοιτώντας από την DC πλευρά προς τον μετατροπέα), ενώ απαιτεί την χρήση πηνίου ως μέσου για την διατήρηση του ρεύματος σταθερού και DC φίλτρα για την εξομάλυνση της κυμάτωσης. Λόγω αυτού του πηνίου, υπάρχει έμφυτη η δυνατότητα περιορισμού των ρευμάτων σφάλματος. Επίσης, η πολικότητα του DC ρεύματος είναι σταθερή, ενώ οι αλλαγές στη ροή ισχύος πραγματοποιούνται μέσω της αντιστροφής της DC τάσης.

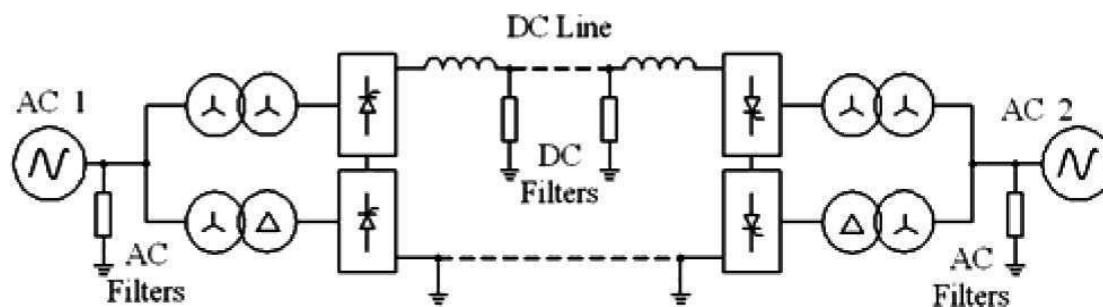
Από την AC πλευρά του συστήματος:

Λειτουργεί σαν μια σταθερή πηγή τάσης, ενώ χρειάζεται συνεχής παροχή αέργου ισχύος στα ημιαγωγά στοιχεία, η οποία (εν μέρει) παρέχεται από πυκνωτές συνδεδεμένους παράλληλα. Είναι αναγκαία ακόμη η ύπαρξη μεγάλων σε μέγεθος και βάρος και επομένως ακριβών AC φίλτρων για την εξάλειψη των αρμονικών που αναπόφευκτα παράγονται, όπως εξηγήθηκε παραπάνω.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως οι τελευταίες εγκαταστάσεις σταθμών με τέτοιους μετατροπείς μπορούν να μεταφέρουν ως και 500 MW ενεργού ισχύος υπό τάση ως και τα 400 kV.

Ακόμη, η αναγκαιότητα παροχής αέργου ισχύος για τη λειτουργία αυτών των μετατροπέων είναι αυτή που τους περιορίζει από τη φύση τους σε λειτουργία μόνο 2 τεταρτημορίων. Με άλλα λόγια, μόνο η ροή της ενεργού μπορεί να ελεγχθεί. Αυτό αποτελεί μια ειδοποιό διαφορά ανάμεσα στις δυο τεχνολογίες.

Οι μετατροπείς πηγής ρεύματος είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι στην κατασκευή συστημάτων HVDC. Ο αριθμός των ολοκληρωμένων έργων που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία μέχρι το 2012 έχει ξεπεράσει τα 100, ενώ ακόμη περισσότερα έργα βρίσκονται στο στάδιο της κατασκευής ή του σχεδιασμού. Αποτελούν πλέον "ώριμη" τεχνολογία (γι' αυτό τα αντίστοιχα συστήματα ονομάζονται "classic" HVDC), η οποία όμως συνεχίζει να εξελίσσεται. Παρ' όλα αυτά, δε θα ασχοληθούμε σε βάθος με την τεχνολογία αυτή στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Ακολουθεί ένα παράδειγμα ενός συστήματος που χρησιμοποιεί τους μετατροπείς αυτούς.

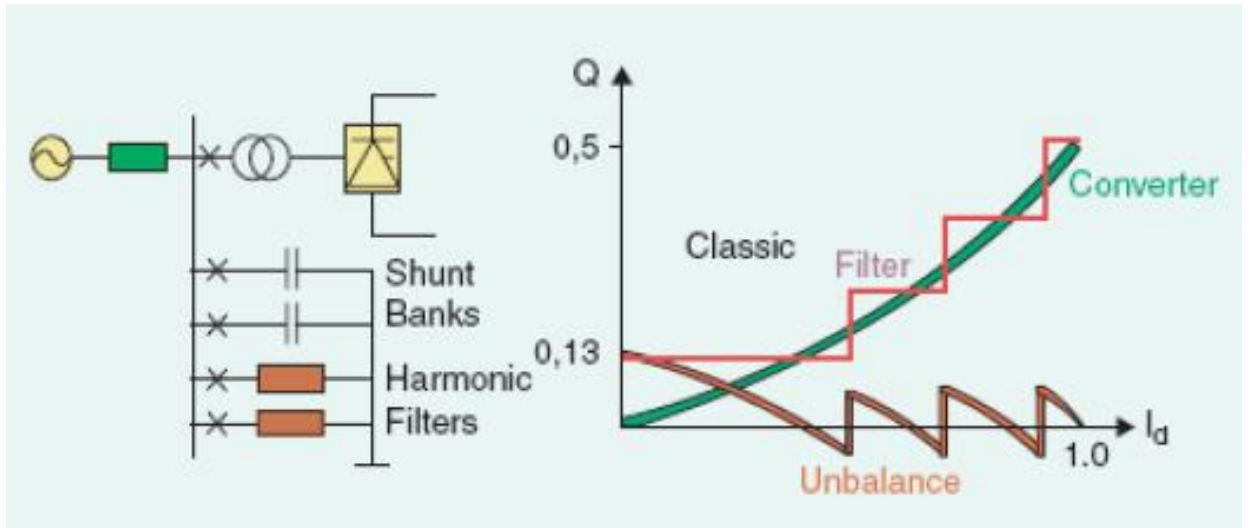


Εικόνα 3: Μονοπολικό CSC-HVDC σύστημα με μετατροπείς των 12 παλμών

2.2.2 Λειτουργία των μετατροπέων πηγής ρεύματος

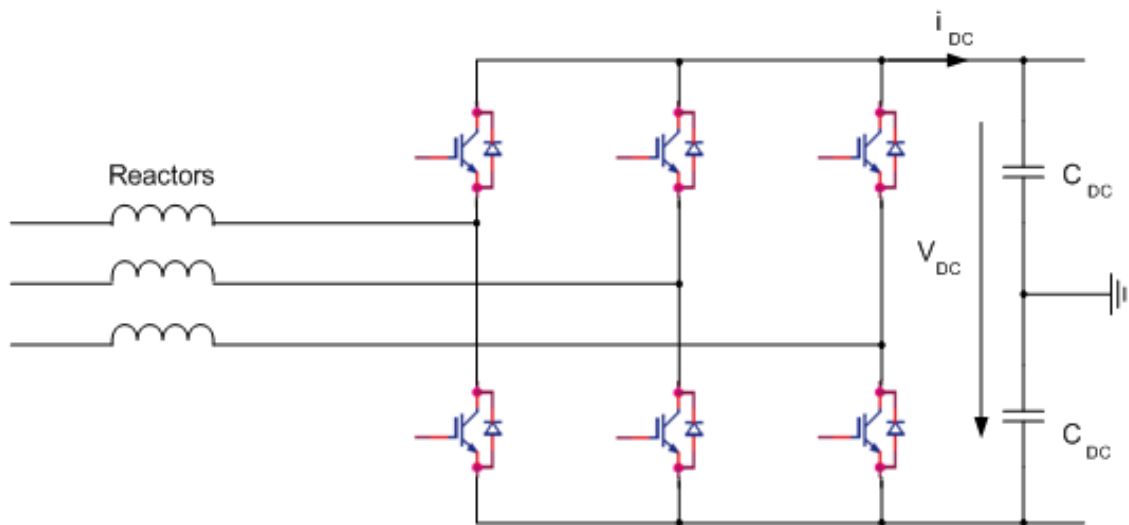
Οι μετατροπείς πηγής ρεύματος μπορούν να λειτουργήσουν μόνο όταν το ρεύμα του δικτύου στο οποίο συνδέονται έπεται της τάσης, με άλλα λόγια απαιτείται άεργος ισχύς για τη λειτουργία. Σε έναν HVDC σταθμό με τους συγκεκριμένους μετατροπείς, η ανάγκη για άεργο ισχύ καλύπτεται από AC φίλτρα (με χωρητική προφανώς συμπεριφορά στη συχνότητα των 50 Hz) και παράλληλες συστοιχίες πυκνωτών. Ένα ενδεχόμενο πλεόνασμα ή έλλειψη αέργου ισχύος πρέπει να καταναλωθεί/παραχθεί αντίστοιχα από το AC δίκτυο.

Οποιαδήποτε διαφορά ανάμεσα στην άεργο ισχύ που παράγεται από τα φίλτρα και την άεργο που καταναλώνουν οι μετατροπείς θα πρέπει να συγκρατείται σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών για να διατηρηθεί η AC τάση του δικτύου σε αποδεκτά επίπεδα. Γενικά, όσο χαμηλότερη είναι η ισχύς βραχυκύκλωσης του ζυγού σύνδεσης στο δίκτυο, ή όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ανάμεσα στον μετατροπέα και την παραγωγή, τόσο μικρότερο πρέπει να είναι το εύρος αυτό για τη διαφορά της αέργου, ώστε να μπορεί να ελεγχθεί η AC τάση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η ζήτηση αέργου από τον μετατροπέα, η παροχή από τα φίλτρα και η διαφορά τους που είναι η ροή αέργου ανάμεσα στο δίκτυο και το μετατροπέα.



Εικόνα 4: Συνδεσμολογία και ανταλλαγή αέργου ισχύος σε μετατροπέα πηγής ρεύματος

2.2.3 Μετατροπείς πηγής τάσης



Εικόνα 5: Μετατροπέας πηγής τάσης δύο επιπέδων

Η δομή των μετατροπέων πηγής τάσης βασίζεται σε ημιαγωγούς ισχύος και μπορεί να λειτουργήσει ως ανορθωτές, μετατρέποντας δηλαδή την AC τάση σε DC) ή ως αναστροφείς, μετατρέποντας την DC τάση σε AC. Ανάμεσα στους δύο μετατροπείς υπάρχει μια DC σύνδεση. Η τοπολογία της γέφυρας δύο επιπέδων που φαίνεται στο σχήμα είναι η απλούστερη.

Ο μετατροπέας μπορεί να παράγει μη ημιτονοειδείς τάσεις και ρεύματα που περιέχουν τη θεμελιώδη AC συχνότητα μαζί με κάποιες ανώτερες αρμονικές. Η

χρήση AC φίλτρων είναι απαραίτητη για να μειωθεί το περιεχόμενο σε αρμονικές που οφείλεται στη διακοπτική λειτουργία των IGBT. Σε άλλη περίπτωση, η έγχυση στο δίκτυο αυτών των αρμονικών θα προκαλέσει διαταραχές.

Η κυματομορφή εξόδου του μετατροπέα περιέχει αρμονικές τάξης $m * f_c \pm n * f$, όπου f_c είναι η συχνότητα του φορέα, f η θεμελιώδης συχνότητα και m, n είναι ακέραιοι. Ένας τρόπος ορισμού του δείκτη διαμόρφωσης P_m είναι ο λόγος ανάμεσα στο f_c και το f :

$$P_m = \frac{f_c}{f}$$

Η λειτουργία σε βάθος του ελέγχου της κυματομορφής εξόδου παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην παράγραφο 5.2.2, όπου εξετάζεται το συγκεκριμένο μοντέλο του μετατροπέα που είναι διαθέσιμο στο Powerfactory.

Οι μετατροπείς παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Διακοπτικά Στοιχεία:

Οι ημιαγωγοί είναι αποκλειστικά force-commutated. Η μεταγωγή γίνεται σε μεγάλες συχνότητες, κάτι που σημαίνει πολλούς παλμούς μέσα σε έναν κύκλο (50 Hz). Ένα σημαντικό μειονέκτημα τους είναι οι σημαντικές απώλειες κατά τη μεταγωγή, υψηλότερες από τα απλά thyristors αλλά και από τα MOSFETs. Οι μεγαλύτερες απώλειες οφείλονται στο μεγαλύτερο χρόνο που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η μεταγωγή σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες.

Από τη DC πλευρά του συστήματος:

Κοιτώντας από τη DC πλευρά προς τον μετατροπέα, παρατηρούμε ουσιαστικά συμπεριφορά σταθερής πηγής τάσης. Για τη διατήρηση της τάσης σε σταθερό επίπεδο, γίνεται χρήση μιας χωρητικότητας, η οποία αποθηκεύει ή προσδίδει ενέργεια στο σύστημα αν η τάση είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη της ονομαστικής αντίστοιχα. Ο ίδιος πυκνωτής προσφέρει και φιλτράρισμα των αρμονικών χωρίς επιπλέον κόστος. Η αλλαγή της ροής ισχύος γίνεται με την αντιστροφή της κατεύθυνσης του DC, ενώ η πολικότητα της DC τάσης παραμένει σταθερή.

Πρέπει να τονιστεί μια σημαντική αδυναμία των συστημάτων που χρησιμοποιούν αυτούς τους μετατροπείς. Επειδή γίνεται χρήση χωρητικότητας, σε περίπτωση σφάλματος οπουδήποτε πάνω στη DC γραμμή, οι χωρητικότητες αυτές θα συμβάλλουν στο σφάλμα. Αυτό σημαίνει πως εκτός του ρεύματος σφάλματος θα προστεθεί κι ένα ακόμα ρεύμα, από την αποθηκευμένη ενέργεια του πυκνωτή, κάτι που θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν κατά τη διαστασιολόγηση των καλωδίων και γενικά όλου του εξοπλισμού που εξαρτάται από το ρεύμα σφάλματος. Αναμφισβήτητα, κάτι τέτοιο θα οδηγήσει και στην αύξηση του κόστους εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος.

Από την AC πλευρά του συστήματος:

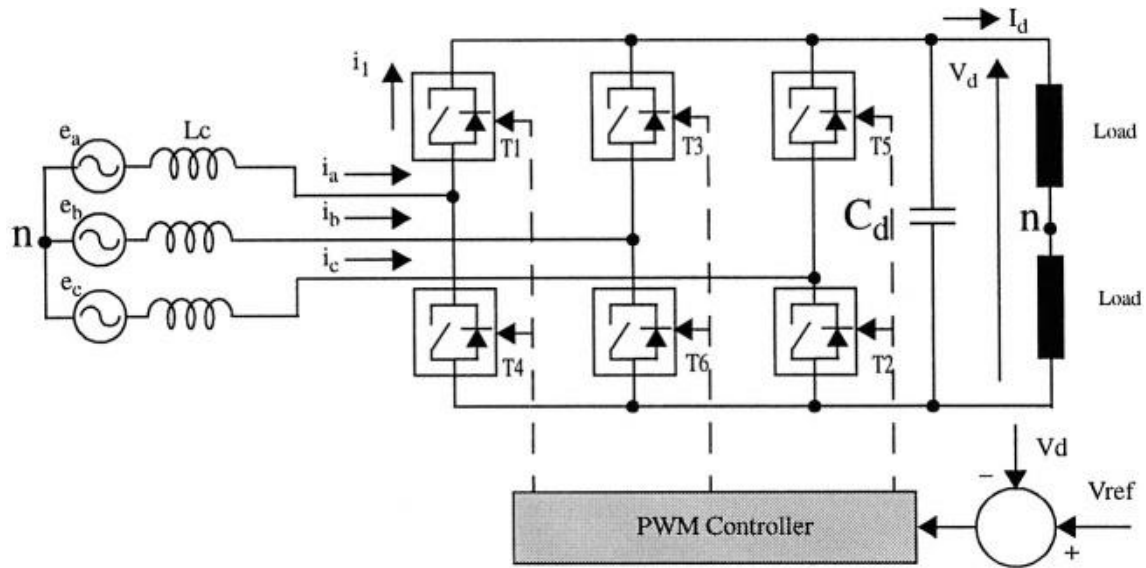
Από την AC πλευρά, ο μετατροπέας φαίνεται σαν μια σταθερή πηγή ρεύματος. Επειδή η παραγωγή αρμονικών από τους VSC μετατροπείς είναι πολύ μικρή, χρησιμοποιούνται πολύ μικρά ac φίλτρα (ή και καθόλου) για την εξάλειψη των ανώτερων αρμονικών. Η παροχή αέργου ισχύος στους μετατροπείς δεν απαιτείται, αφού αυτοί μπορούν να λειτουργήσουν σε οποιοδήποτε τεταρτημόριο.

Λόγω της ταχύτατης εξέλιξης της τεχνολογίας των συγκεκριμένων μετατροπέων αλλά και επειδή έχει επιλεγεί ως βασικό στοιχείο για τη διασύνδεση με την Κρήτη σε αυτή την εργασία, θα ασχοληθούμε λίγο παραπάνω με τον τρόπο λειτουργίας τους και το εύρος των εφαρμογών που χρησιμοποιούνται.

Για την λειτουργία του μετατροπέα πηγής τάσης και την παραγωγή ημιτονοειδούς εξόδου (στη λειτουργία inverter) χρησιμοποιούνται τεχνικές Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών PWM, συνήθως ημιτονοειδούς. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ο VSC σε σύγκριση με το μετατροπέα πηγής ρεύματος είναι τα εξής:

- ❖ Ανεξάρτητος έλεγχος ενεργού, αλλά και αέργου ισχύος
- ❖ Παροχή ισχύος υψηλής ποιότητας
- ❖ Ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση
- ❖ Δυνατότητα σύνδεσης σε αδύναμα ή ακόμη και παθητικά AC δίκτυα, ενώ για να πραγματοποιηθεί σωστά η μεταγωγή στους LCC απαιτούνται κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες από το AC σύστημα, όπως μια κατώτατη τιμή στην ισχύ βραχυκύκλωσης στο σημείο σύνδεσης.
- ❖ Χαμηλές απαιτήσεις σε χώρο, κυρίως λόγω των πολύ μικρότερων ή και ανύπαρκτων AC φίλτρων.
- ❖ Δυνατότητα επαναφοράς του σταθμού μετά από σφάλμα χωρίς εξάρτηση από το εξωτερικό σύστημα μεταφοράς ενέργειας (Black-Start Capability).
- ❖ Δυνατότητα ταχύτατης απόκρισης
- ❖ Καλύτερη δυνατότητα εξασφάλισης ισχύος υψηλής ποιότητας.

Όπως τονίστηκε και πριν, οι μετατροπείς πηγής τάσης έχουν πολύ μεγαλύτερη συχνότητα μεταγωγής σε σύγκριση με τους συμβατικούς LCC. Αυτό συμβαίνει επειδή η μεταγωγή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ελέγχου κατά βούληση, πολλές φορές μέσα σε ένα κύκλο, κάτι που γίνεται μόνο μια φορά σε έναν κύκλο με τους LCC, αφού η μεταγωγή εξαρτάται από την τάση του δικτύου στο οποίο συνδέουμε τον μετατροπέα. Με την υψηλή συχνότητα γίνεται δυνατή η διαμόρφωση του ρεύματος ή της τάσης του μετατροπέα ώστε να επιτυγχάνεται σχεδόν ημιτονοειδής. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας μιας βασικής τοπολογίας ενός μετατροπέα πηγής τάσης.



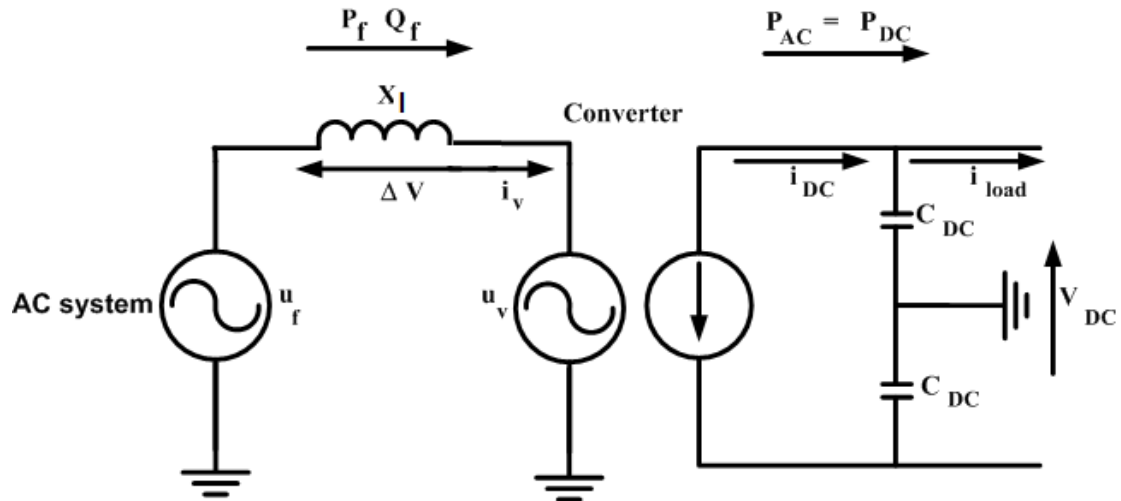
Εικόνα 6: Μετατροπέας πηγής τάσης σε λειτουργία ανορθωτή

Ο πυκνωτής C_d στη dc πλευρά και το πηνίο L_c στην ac πλευρά είναι απαραίτητα στοιχεία για τη λειτουργία του VSC. Η dc τάση V_d στα άκρα του πυκνωτή C_d μετράται και συγκρίνεται με μια τάση αναφοράς V_{ref} . Η διαφορά των δύο σημάτων δίνει ένα σφάλμα το οποίο ελέγχει τον PWM ελεγκτή. Εδώ η αντιστροφή ισχύος γίνεται μέσω του ρεύματος. Για θετικό I_d ο μετατροπέας λειτουργεί ως ανορθωτής. Ο πυκνωτής αποφορτίζεται για να τροφοδοτήσει το φορτίο και το σύστημα ελέγχου αλλάζει τη γωνία έναυσης για να εισαχθεί ενεργός ισχύς από το AC σύστημα. Με αρνητικό I_d , ο VSC λειτουργεί ως αναστροφέας. Ο πυκνωτής φορτίζεται από τη DC πηγή και το σύστημα ελέγχου τροποποιεί κατάλληλα τη γωνία έναυσης ώστε να εξάγεται ενεργός ισχύς στο AC δίκτυο.

Ο μετατροπέας μπορεί επίσης να διαμορφώσει τη μεταγωγή των ημιαγωγών στοιχείων για να ελεγχθεί η άεργος ισχύς, ώστε να επιτευχθεί οποιοσδήποτε συντελεστής ισχύος απαιτείται.

2.2.4 Λειτουργία των μετατροπέων πηγής τάσης

Ισοδύναμο κύκλωμα



Εικόνα 7: Ισοδύναμο κύκλωμα μετατροπέα πηγής τάσης

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός μετατροπέα πηγής τάσης. Όπως εξηγήθηκε και νωρίτερα, ο μετατροπέας μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μια πηγή τάσης u_v συνδεδεμένη στο AC δίκτυο μέσω επαγωγών σε σειρά. Το AC σύστημα αντιπροσωπεύεται από την πηγή u_f και συνδέεται με τον μετατροπέα μέσω της επαγωγής X_l .

Στη DC πλευρά ο μετατροπέας μοντελοποιείται ως πηγή ρεύματος. Το ρεύμα της πηγής υπολογίζεται από τη διατήρηση της ενεργού ισχύος για μηδενικές απώλειες μετατροπέα:

$$P_{AC} = \text{Re}(u_v * i_v) = V_{DC} * I_{DC} = P_{DC}$$

Ενώ η εξαρτημένη πηγή τάσης u_v περιγράφεται από τη σχέση:

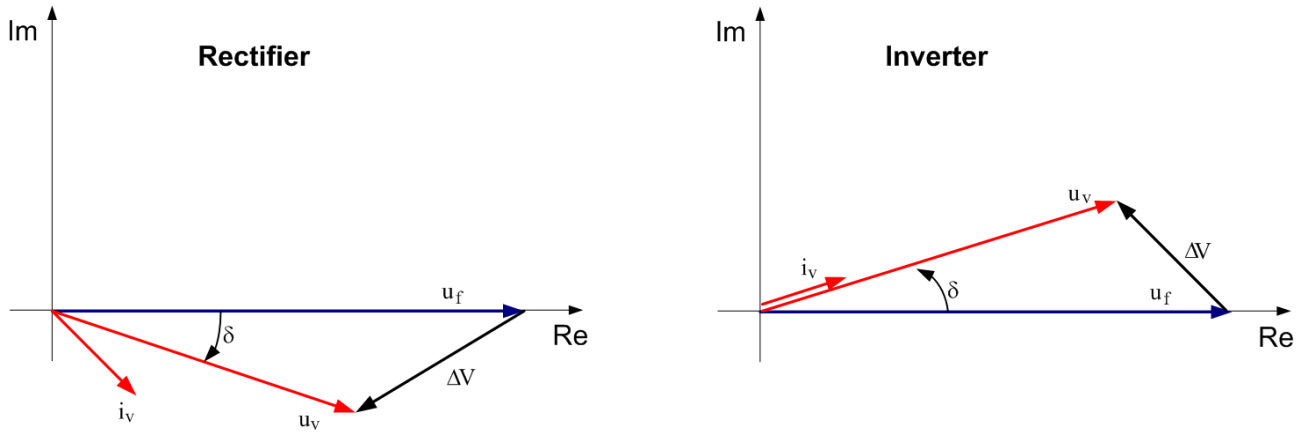
$$u_v = \frac{1}{2} * V_{DC} * P_m * \sin(\omega t + \delta) + \text{αρμονικές}$$

όπου P_m είναι ο δείκτης διαμόρφωσης ($0 < P_m < 1$) που μπορεί να οριστεί και ως ο λόγος του πλάτους της κυματομορφής υπό διαμόρφωση προς το πλάτος του φορέα. Με την προϋπόθεση πως ακολουθείται η συνήθης μέθοδος διαμόρφωσης με τα διανύσματα, ο δείκτης συνδέεται με τις εκατέρωθεν τάσεις ως εξής:

$$P_m = \frac{2 * \sqrt{2} u_v}{\sqrt{3} * V_{DC}}$$

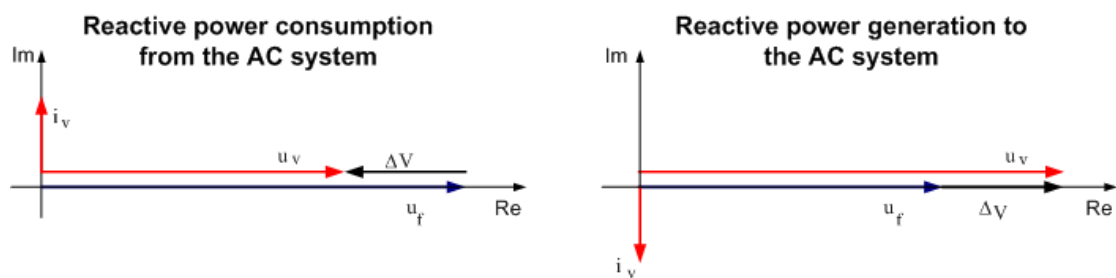
Η καμπύλη λειτουργίας του μετατροπέα

Ακολουθούν τα διαγράμματα που δείχνουν τις λειτουργίες ανορθωτή και αναστροφέα του μετατροπέα:



Εικόνα 8: Διανυσματικό διάγραμμα του μετατροπέα σε λειτουργία ανορθωτή και αναστροφέα

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, σε περίπτωση που η τάση u_v του μετατροπέα ακολουθεί την τάση u_f του δικτύου, η ροή ενεργού ισχύος γίνεται από την AC στη DC πλευρά και έχουμε επομένως λειτουργία ανορθωτή. Αν όμως η τάση του μετατροπέα βρίσκεται "μπροστά" όσον αφορά τη φάση, τότε η ροή ενεργού αντιστρέφεται και έχουμε λειτουργία αναστροφέα.



Εικόνα 9: Διανυσματικό διάγραμμα ροής αέργου ισχύος- κατανάλωση και παραγωγή

Αντίστοιχα, η ροή αέργου ισχύος από και προς το μετατροπέα εξαρτάται από τη σχέση ανάμεσα στα μέτρα των τάσεων. Αν $u_f > u_v$, έχουμε κατανάλωση αέργου, ενώ για $u_f < u_v$ παράγεται άεργος από τον μετατροπέα.

Η καμπύλη λειτουργίας ενός μετατροπέα πηγής τάσης μπορεί να εξαχθεί πολύ απλά. Χρησιμοποιώντας τα σύμβολα στο παραπάνω σχήμα και θεωρώντας μετατροπέα με μηδενικές απώλειες, ισχύουν οι εξής γνωστές σχέσεις για τη ροή ενεργού και αέργου ισχύος πάνω στην επαγωγή X:

$$P = U_{dc} * I_{dc} = \frac{u_v * u_f}{X} \sin\delta \quad (1)$$

$$Q = \frac{u_f * (u_f - u_v * \cos\delta)}{X} \quad (2)$$

Σημείωση: Οι παραπάνω σχέσεις έχουν γραφτεί με σύμβαση θετικής ροής ισχύος από το AC δίκτυο προς τον μετατροπέα. Αυτό ισοδυναμεί με τον παρακάτω ορισμό της γωνίας δ:

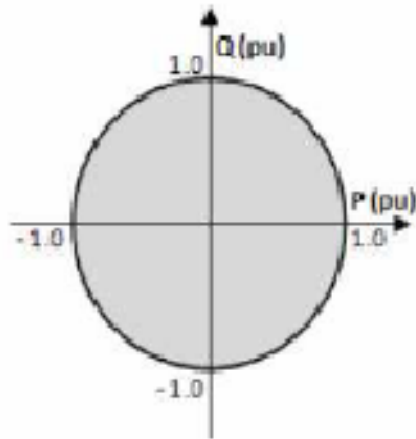
$$\delta = \angle u_v - \angle u_f$$

Οι σχέσεις (1) και (2) δείχνουν πως η ενεργός ισχύς είναι ανάλογη των DC μεταβλητών και καθορίζεται κυρίως από τη διαφορά φάσης των phasors των δύο τάσεων. Οι διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του μετατροπέα όσον αφορά τη ροή της ενεργού αλλά και της αέργου ισχύος θα εξηγηθούν στην επόμενη παράγραφο.

Υψώνουμε στο τετράγωνο και προσθέτουμε ανά μέλη τις σχέσεις (1) και (2) και προκύπτει:

$$P^2 + \left(Q - \frac{u_v^2}{X}\right)^2 = \left(\frac{u_v * u_f}{X}\right)^2$$

Η παραπάνω σχέση είναι ένας κύκλος με κέντρο το σημείο $(0, \frac{u_v^2}{X})$ και ακτίνα $\frac{u_v * u_f}{X}$, και αποτελεί τη χαρακτηριστική καμπύλη P-Q του μετατροπέα, μας δείχνει δηλαδή όλα τα σημεία στο πεδίο P-Q που μπορεί ιδανικά αυτός να λειτουργήσει. Κάθε σημείο (P_0, Q_0) μέσα στον κύκλο αυτό είναι ένας δυνατός (θεωρητικά τουλάχιστον) συνδυασμός ενεργού και αέργου ισχύος που μπορεί να παρέχει ο μετατροπέας.

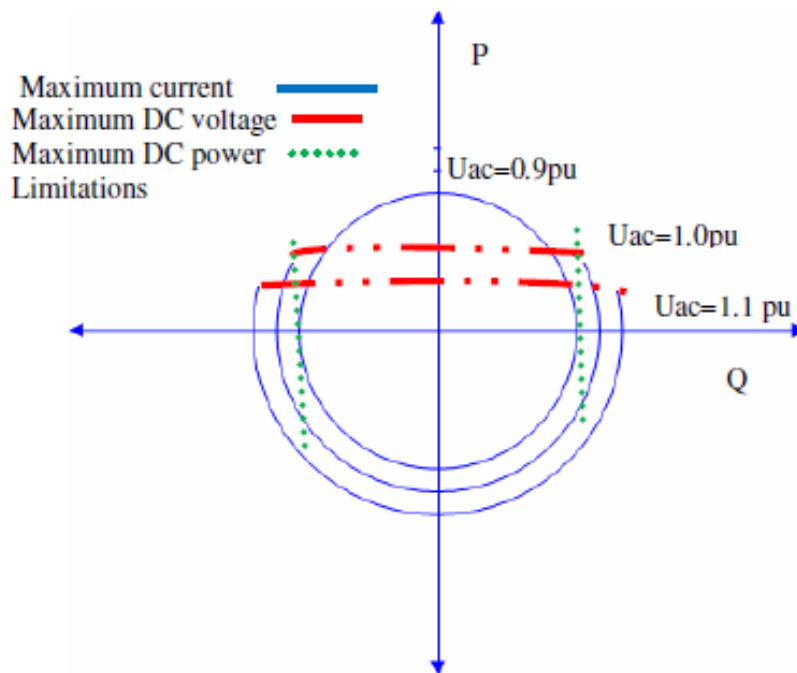


Εικόνα 10: Θεωρητική καμπύλη ικανότητας μετατροπέα πηγής τάσης

Το κέντρο του δε βρίσκεται στην αρχή των καρτεσιανών αξόνων, όμως αλλάζουμε το σύστημα αναφοράς μας για ευκολία.

Είναι προφανής λοιπόν από τις παραπάνω σχέσεις και το σχήμα η δυνατότητα που δίνει ο μετατροπέας πηγής τάσης για ανεξάρτητο έλεγχο ενεργού και αέργου ισχύος, κάτι που δε συμβαίνει με τους άλλους μετατροπείς.

Στην πραγματική λειτουργία ενός μετατροπέα πηγής τάσης επιβάλλονται κάποιοι περιορισμοί στην παραγωγή ενεργού και αέργου ισχύος.



Εικόνα 11: Πραγματικό Capability Curve του μετατροπέα πηγής τάσης

Υπάρχουν τρεις παράγοντες που περιορίζουν την καμπύλη ικανότητας του μετατροπέα από την άποψη της ευστάθειας ΣΗΕ. Οι τρεις παράγοντες απεικονίζονται στο σχήμα παραπάνω.

Ο πρώτος είναι το μέγιστο όριο που μπορεί να διέλθει από τα IGBTs. Έτσι δημιουργείται ο κύκλος που είδαμε και οι συντεταγμένες των σημείων του προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό του μέγιστου ρεύματος με την AC τάση. Με τον πολλαπλασιασμό αυτό προκύπτουν τα μέγιστα MVA, που είναι το μέτρο όλων των διανυσμάτων με αρχή το (0,0) και πέρας τα σημεία του κύκλου.

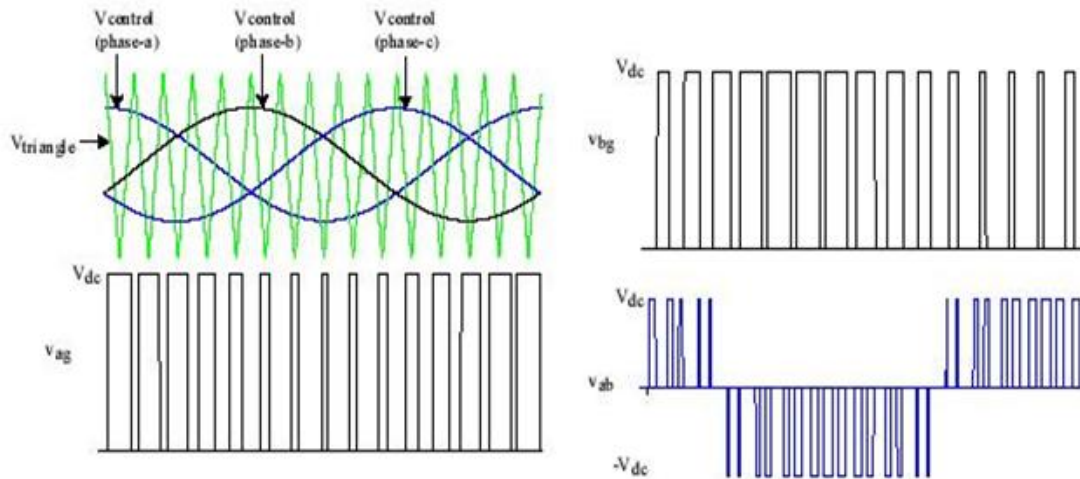
Ο δεύτερος περιορισμός είναι το μέγιστο δυνατό επίπεδο της DC τάσης. Η άεργος ισχύς εξαρτάται κυρίως από τη διαφορά της τάσης ανάμεσα στην AC τάση που μπορεί να παράγει ο μετατροπέας από τη DC και την AC τάση του δικτύου. Αν η AC τάση του δικτύου είναι ψηλή κι επομένως η διαφορά μεταξύ των δύο τάσεων μικρή, τότε η ικανότητα παροχής αέργου είναι μετριασμένη αλλά αυξάνεται με τη μείωση της AC τάσης του δικτύου.

Ο τρίτος περιορισμός είναι το μέγιστο DC ρεύμα που μπορεί να ρέει μέσα από τα καλώδια της διασύνδεσης. Καθώς η AC τάση του δικτύου μειώνεται όλο και περισσότερο, εξαφανίζεται ο περιορισμός της DC τάσης (ο μετατροπέας μπορεί να παράγει περισσότερη άεργο, που είναι λογικό) και το όριο της χαρακτηριστικής καθορίζεται από τον κύκλο, δηλαδή το μέγιστο ρεύμα.

Αξίζει να σημειωθεί η ταύτιση ουσιαστικά της παραπάνω χαρακτηριστικής με αυτή μιας σύγχρονης γεννήτριας. Το μόνο που διαφέρει είναι τα ονόματα των μεγεθών. Η μέγιστη DC τάση αντιστοιχεί στο μέγιστο ρεύμα διέγερσης (δρομέα) και το μέγιστο ρεύμα των ημιαγωγών αντιστοιχεί στο μέγιστο ρεύμα τυμπάνου (στάτη).

2.2.5 Διαμόρφωση Εύρους Παλμών

Οι μετατροπείς πηγής τάσης χρησιμοποιούν τη μέθοδο διαμόρφωση εύρους παλμών (Pulse Width Modulation ή PWM) για να παραχθεί η επιθυμητή κυματομορφή εξόδου. Με τη μέθοδο αυτή επιτρέπεται η ταυτόχρονη μεταβολή του πλάτους και της φάσης της ac τάσης εξόδου του μετατροπέα. Για το λόγο αυτό έχουμε τη δυνατότητα ξεχωριστού ελέγχου ενεργού και αέργου ισχύος με τους VSC, ενώ με τους CSC αυτό δεν είναι δυνατόν. Υπάρχουν διάφορα είδη διαμόρφωσης, με πιο γνωστές την τριγωνική και την ημιτονοειδή. Στα πλαίσια της εργασίας θα ασχοληθούμε με την SPWM.



Εικόνα 12: Η ημιτονοειδής διαμόρφωση SPWM

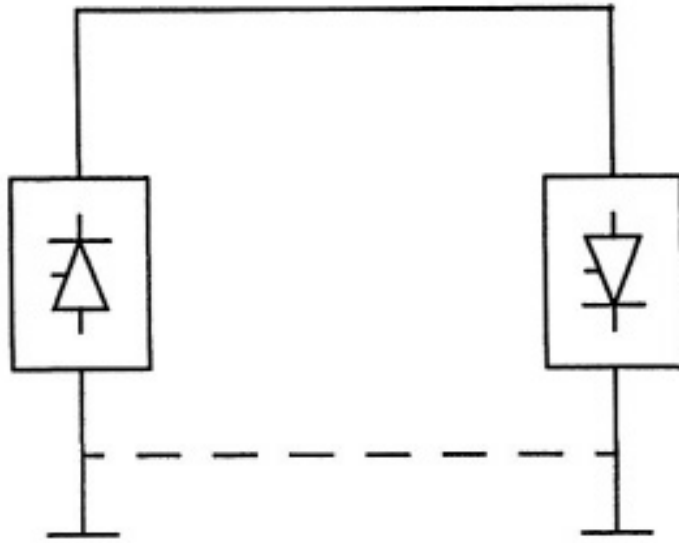
Για να παραχθούν με τη μέθοδο αυτή τρεις ισορροπημένες ημιτονοειδείς τάσεις εξόδου, μια τριγωνική κυματομορφή συγκρίνεται με τρεις ημιτονοειδείς τάσεις ελέγχου με διαφορά φάσης 120° η καθεμιά. Στη γραμμική περιοχή της διαμόρφωσης (όπου ο δείκτης διαμόρφωσης $P_m \leq 1$), η θεμελιώδης συχνότητα της τάσης εξόδου του μετατροπέα μεταβάλλεται γραμμικά με το P_m . Η πολική τάση στην θεμελιώδη συχνότητα μπορεί να εκφραστεί με την εξής σχέση:

$$u_\pi = \frac{\sqrt{3} * P_m * u_{dc}}{2 * \sqrt{2}} \approx 0.612 * P_m * u_{dc} \quad (3)$$

Η επιλογή της τιμής του δείκτη διαμόρφωσης P_m πρέπει να γίνει προσεκτικά. Αυτό συμβαίνει γιατί, να μεν υψηλό P_m ($P_m < 1$) σημαίνει μεγαλύτερη ισχύς εξόδου του μετατροπέα ($S \propto P_m * u_{dc} * I_{rms}$) και χαμηλότερη παραμόρφωση από αρμονικές (χαμηλό THD δηλαδή), αλλά ένας χαμηλότερος δείκτης P_m δίνει περισσότερη περιθώριο για δυναμική απόκριση.

2.3 Είδη ΗVDC συστημάτων

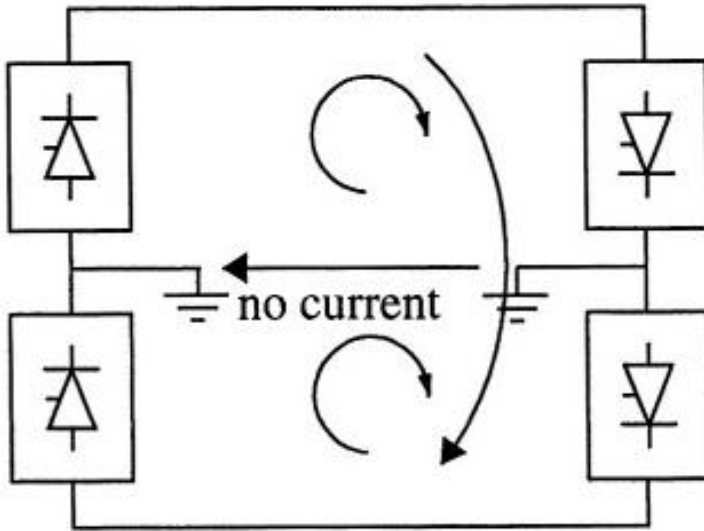
Ανάλογα με την απαιτούμενη λειτουργία και την τοποθεσία των μετατροπέων, μπορούν να προσδιοριστούν ΗVDC συστήματα με διάφορες συνθέσεις. Οι κατηγορίες που παρουσιάζονται εδώ αφορούν και τις δυο τεχνολογίες μετατροπέων, με τις αντίστοιχες βεβαίως μικροδιαφορές που χαρακτηρίζουν την υλοποίηση της καθεμιάς. Η τοποθέτηση μετασχηματιστών πριν και μετά τους μετατροπέες εξαρτάται κάθε φορά από το εκάστοτε project.

Α) *Μονοπολικό σύστημα*

Εικόνα 13: Μονοπολικό CSC-HVDC Σύστημα

Ο μονοπολικός σύνδεσμος, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, έχει μόνο μια γραμμή, και χρησιμοποιεί είτε τη γη είτε το νερό για την επιστροφή, ανάλογα με την εφαρμογή. Σε περιπτώσεις όπου είναι υπαρκτή η πιθανότητα για αρμονικές διαταραχές ή για διάβρωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεταλλικός αγωγός για την επιστροφή. Επίσης, λαμβάνονται υπ' όψη και οι απώλειες λόγω του φαινομένου Corona. Καθώς σε μια DC γραμμή με αρνητική τάση οι απώλειες αυτές είναι σημαντικά λιγότερες σε σχέση με την θετική τάση, στη μεγαλύτερη πλειοψηφία τους οι μονοπολικοί σύνδεσμοι λειτουργούν με αρνητική πολικότητα. Πολλά συστήματα θαλάσσιας HVDC μεταφοράς (επομένως με καλώδια) χρησιμοποιούν το μονοπολικό σύστημα.

B) Διπολικό σύστημα

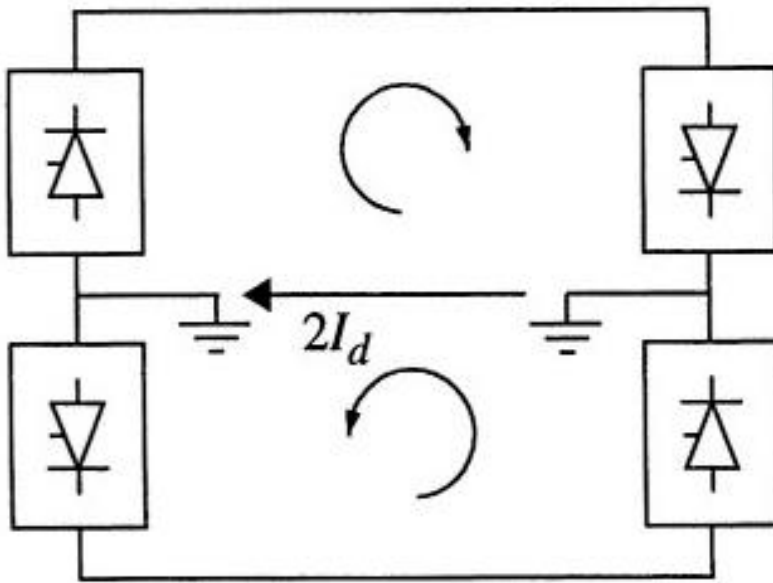


Εικόνα 14: Διπολικό CSC-HVDC Σύστημα

Είναι η σύνθεση που χρησιμοποιείται περισσότερο κυρίως σε εφαρμογές όπου χρησιμοποιούνται υπέργειες γραμμές για την μεταφορά. Ουσιαστικά πρόκειται για δυο μονοπολικά συστήματα, το καθένα από τα οποία μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα από το άλλο με τη γη για επιστροφή. Ο διπολικός σύνδεσμος πραγματοποιείται με δύο γραμμές, η μια με θετική (πάνω) και η άλλη με αρνητική (κάτω) πολικότητα. Σε κάθε τερματικό εγκαθίστανται δύο μετατροπείς σε σειρά με τα ίδια MVA. Η ένωση ανάμεσα στους δύο μετατροπείς γειώνεται στη μια ή και στις δύο πλευρές μέσω ενός ηλεκτροδίου. Στη σταθερή κατάσταση, όπου θεωρούμε πως στις δύο γραμμές (πόλους) ρέουν ίσα ρεύματα, δε θα υπάρχει ροή ρεύματος προς τη γη (πρακτικά υπάρχει απόκλιση 1% από το μηδέν).

Η εγκατάσταση αυτού του συνδέσμου είναι σίγουρα ακριβότερη από την προηγούμενη, αφού ουσιαστικά διπλασιάζεται ο απαραίτητος εξοπλισμός. Εντούτοις, λόγω της συγκεκριμένης διάταξης, υπάρχουν κάποια πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα λειτουργίας μόνο της μιας γραμμής σε περίπτωση μη λειτουργίας της άλλης ή η χρήση μιας γραμμής ως επιστροφή σε περίπτωση δυσλειτουργίας μετατροπέων, με τα κατάλληλα διακοπτικά στοιχεία.

Γ) Ομοπολικό σύστημα

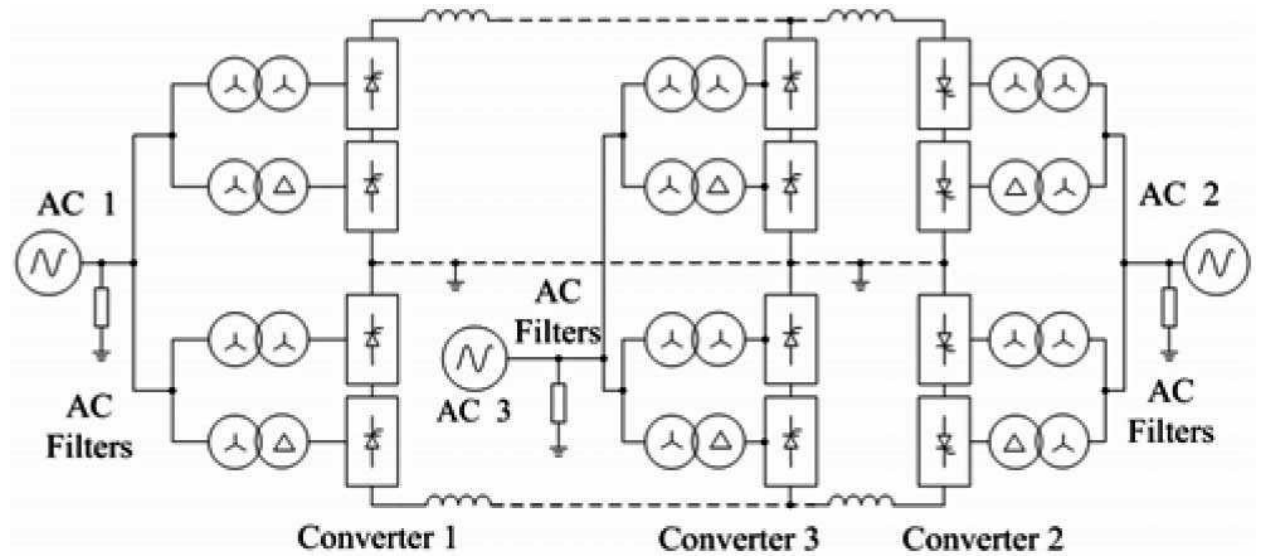


Εικόνα 15: Ομοπολικό CSC-HVDC Σύστημα

Σε αυτό το είδος συνδέσμου λειτουργούν δύο αγωγοί με την ίδια πολικότητα (συνήθως αρνητική, για τους ίδιους λόγους με παραπάνω) με επιστροφή τη γη ή μεταλλικό αγωγό.

Οι διπολικοί σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται συχνότερα, επειδή δεν είναι επιθυμητή η λειτουργία ενός DC συνδέσμου με επιστροφή τη γη. Το μόνο πλεονέκτημα που έχει η χρήση του ομοπολικού είναι το μειωμένο κόστος για την μόνωση, το οποίο όμως δεν είναι αρκετό για να καθιερώσει τη χρήση του.

Δ) Πολυτερματικό (Multiterminal) σύστημα



Εικόνα 16: Πολυτερματικό CSC-HVDC Σύστημα

Σε αυτή τη σύνθεση, υπάρχουν περισσότεροι από δυο μετατροπείς. Στο παραπάνω σχήμα, για παράδειγμα, μπορεί οι μετατροπείς 1,3 να λειτουργούν ως ανορθωτές και ο 2 να λειτουργεί ως αναστροφέας. Αλλάζοντας την κατάσταση των διακοπών στους μετατροπείς μπορούμε να επιτύχουμε κι άλλους συνδυασμούς.

Τα συστήματα αυτά είναι πιο σπάνια από τις παραπάνω κατηγορίες. Ακόμη, η λειτουργία τους με line-commutated μετατροπείς (CSC) είναι δύσκολη, αφού η αναστροφή της ενεργού ισχύος στα συστήματα αυτής της τεχνολογίας γίνεται μέσω της αντιστροφής της DC τάσης (όπως θα δούμε και παρακάτω), η οποία όμως επηρεάζει τη λειτουργία όλων των συνδεδεμένων μετατροπέων. Αντιθέτως, στους μετατροπείς πηγής τάσης (VSC), η αντιστροφή επιτυγχάνεται μέσω της αντιστροφής της ροής του ρεύματος, κάτι που καθιστά το σύστημα πολύ πιο διαχειρίσιμο στον έλεγχο. Για το λόγο αυτό, τα πολυτερματικά συστήματα αναμένεται σύντομα να γίνουν περισσότερο κοινά.

Υπάρχουν επίσης και κάποιες υποκατηγορίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένες εφαρμογές. Μια υποκατηγορία είναι το Back-to-Back σύστημα, το οποίο λειτουργεί πανομοιότυπα με το διπολικό, με την διαφορά πως οι μετατροπείς βρίσκονται στον ίδιο χώρο, είναι απευθείας συνδεδεμένοι και δεν υπάρχει μεταφορά ισχύος μέσω dc γραμμής. Η σύνθεση αυτή χρησιμοποιείται συχνά για τη σύνδεση AC δικτύων διαφορετικής συχνότητας. Μια άλλη κατηγορία είναι το υβριδικό σύστημα, που χρησιμοποιεί DC και AC γραμμές παράλληλα, συνήθως για την ενίσχυση υπερφορτωμένων δικτύων.

3. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης

3.1 Εισαγωγή

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το 5^ο μεγαλύτερο της Μεσογείου, με πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη το Ηράκλειο, ενώ άλλες πόλεις είναι τα Χανιά, το Ρέθυμνο, η Ιεράπετρα και ο Άγιος Νικόλαος. Βρίσκεται στα νότια του Αιγαίου Πελάγους και έχει έκταση 8.336 km², με μήκος 260 km και μέγιστο πλάτος τα 60 km. Έχει πληθυσμό 622.913 ανθρώπων και παρουσιάζει μεγάλο μήκος ακτογραμμής για το μέγεθός της (πάνω από 1.000 km).



Εικόνα 17: Χάρτης Συστήματος της Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης

Το νησί έχει το δικό του αυτόνομο σύστημα, κάτι που περιλαμβάνει τους αντίστοιχους σταθμούς παραγωγής, το δίκτυο μεταφοράς, το δίκτυο διανομής αλλά και το αναγκαίο κέντρο ελέγχου ενέργειας. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται μια απεικόνιση της ραχοκοκαλιάς του ΣΗΕ της Κρήτης.

Λόγω ακριβώς του μεγάλου μεγέθους του νησιού, το σύστημα της Κρήτης συνδυάζει τα χαρακτηριστικά ενός αυτόνομου νησιωτικού συστήματος (με τις ιδιαιτερότητες και τα μειονεκτήματα που θα συζητηθούν παρακάτω) με κάποια χαρακτηριστικά που απαντώνται κυρίως σε μεγάλα διασυνδεδεμένα δίκτυα, όπως μεγάλοι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί βάσης. Το γεγονός αυτό δίνει στο σύστημα της Κρήτης μοναδικό χαρακτήρα, καθιστώντας το παράλληλα και ιδανικό για μελέτη για

την εξαγωγή συμπερασμάτων πάνω σε αυτόνομα (νησιωτικά) αλλά και μεγαλύτερα, διασυνδεδεμένα συστήματα.

3.2 Ομοιότητες και διαφορές με άλλα νησιωτικά συστήματα

Ως νησί, η Κρήτη παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια όπως και τα άλλα νησιά. Μερικά από αυτά είναι:

- I. Μεγάλη εξάρτηση από το πετρέλαιο για την παραγωγή, κάτι που δεν ισχύει σε τόσο μεγάλο βαθμό στην ηπειρωτική Ελλάδα.
- II.
- III. Πρόβλημα όσον αφορά την αδιάλειπτη παροχή ισχύος στους καταναλωτές. Λόγω έλλειψης εφεδρειών αλλά και της αυξανόμενης ζήτησης, οι διακοπές στην ηλεκτροδότηση είναι συχνότερες από το κεντρικό δίκτυο.
- IV. Χαμηλό φορτίο βάσης λόγω έλλειψης μεγάλης βιομηχανικής δραστηριότητας. Αυτό οδηγεί σε καταπόνηση των μονάδων παραγωγής, οι οποίες είναι επιθυμητό να λειτουργούν στο τεχνικό ελάχιστο, κάτι που είναι δύσκολο με χαμηλή βάση. Ο συντελεστής φορτίου, επίσης, προκύπτει μικρότερος από τον αντίστοιχο του ηπειρωτικού συστήματος.
- V. Ραγδαία αύξηση της ζήτησης, οφειλόμενη κυρίως στον τουρισμό, που αποτελεί μεγάλο παράγοντα ανάπτυξης του νησιού.
- VI. Μεγάλη εποχιακή διακύμανση στη ζήτηση, λόγω τουρισμού.
- VII. Υψηλό κόστος παραγωγής KWh, που οφείλεται κυρίως σε έλλειψη συμβατικών πηγών ενέργειας αλλά και στο χαμηλό βαθμό απόδοσης πολλών μονάδων λόγω παλαιότητας.

Παρά τα κοινά προβλήματα που παρουσιάζει σε σχέση με τα άλλα νησιά, εντούτοις η περίπτωση της Κρήτης διαφοροποιείται σημαντικά από τη μελέτη διασύνδεσης με ένα οποιοδήποτε (μικρότερο) νησί του Αιγαίου. Αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους:

- i. Η αιχμή του φορτίου της Κρήτης είναι μεγάλη (περί τα 750 MW), κάτι που σημαίνει πως δε θα ήταν εύκολο να καταργηθούν όλοι οι συμβατικοί σταθμοί, σίγουρα όχι άμεσα, αφού η ζήτηση μόνο υπό κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες θα μπορέσει να τροφοδοτηθεί εξ' ολοκλήρου από το ηπειρωτικό σύστημα, ενώ παρέχεται παράλληλα και η απαιτούμενη εφεδρεία. Οι ΑΠΕ ως γνωστόν δε μπορούν να παρέχουν εφεδρεία, γι' αυτό κι η εφεδρεία αποτελεί ακόμη μια προϋπόθεση που πρέπει να καλύπτει η διασύνδεση. Στη συνέχεια θα γίνουν αναφορές σε μελέτες πάνω στο θέμα, καθώς και στα σενάρια που έχουν μελετηθεί, ώστε να εξηγηθεί για ποιο λόγο είναι δύσκολη η

παύση όλων των συμβατικών σταθμών παραγωγής. Ακόμη κι αν λάβουμε υπ' όψιν τις ανανεώσιμες που μπορούν να καλύψουν ένα ποσοστό της συνολικής ζήτησης, υπάρχει μια σταθερή ελάχιστη ζήτηση που είναι μεγάλη και η οποία ως γνωστόν καλύπτεται μόνο με συμβατικούς σταθμούς που μπορούν να προγραμματίσουν την παραγωγή τους. Επομένως έχει νόημα να λειτουργήσουν και οι συμβατικοί σταθμοί της Κρήτης παράλληλα με τη διασύνδεση και τις ανανεώσιμες, κάτι που δύσκολα θα γινόταν σε ένα μικρότερο νησί με χαμηλότερες ανάγκες, οι οποίες μπορούν να καλυφθούν πλήρως από το κεντρικό δίκτυο χωρίς πρόβλημα. Αυτό σημαίνει ότι στο σύστημα που θα προσομοιώσουμε θα υπάρχουν στο τέλος της γραμμής μαζί με τις ανεμογεννήτριες και συμβατικές γεννήτριες. Από πρόσφατη μελέτη της οποίας τα αποτελέσματα θα παρουσιάσουμε παρακάτω, μόνο σε ένα σενάριο κατασκευής της διασύνδεσης(που τελικά καταλήγει οικονομικά ασύμφορο) γίνεται δυνατή η εξ' ολοκλήρου απομάκρυνση της τοπικής συμβατικής παραγωγής. Για το λόγο αυτό στην παρούσα εργασία δε θα μελετήσουμε περίπτωση παύσης λειτουργίας όλων των συμβατικών σταθμών.

- ii. Λόγω ακριβώς της παράλληλης λειτουργίας των συμβατικών σταθμών του νησιού κι επειδή το νησί θα λειτουργεί ως επέκταση του συστήματος κι όχι απλά ως φορτίο, δεν αποκλείεται η ροή ενεργού ισχύος από την Κρήτη προς το Λαύριο σε ορισμένες περιπτώσεις. Αυτό όμως, εκτός από το να ξεχωρίζει τη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης, προσθέτει έναν επιπλέον βαθμό πολυπλοκότητας στο σχεδιασμό και τον έλεγχο του μοντέλου.

3.3 Συμβατικοί σταθμοί παραγωγής

Το σύστημα παραγωγής της Κρήτης αποτελείται από θερμικές μονάδες που έχουν ως καύσιμο βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ) καθώς και πετρέλαιο diesel. Οι μονάδες αυτές έχουν εγκατασταθεί σταδιακά σε τρεις σταθμούς, στα Λινοπεράματα (κοντά στο Ηράκλειο) στα Χανιά και στον Αθρινόλακκο (κοντά στο Λασιθί). Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται κάποια βασικά στοιχεία για τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής του νησιού:

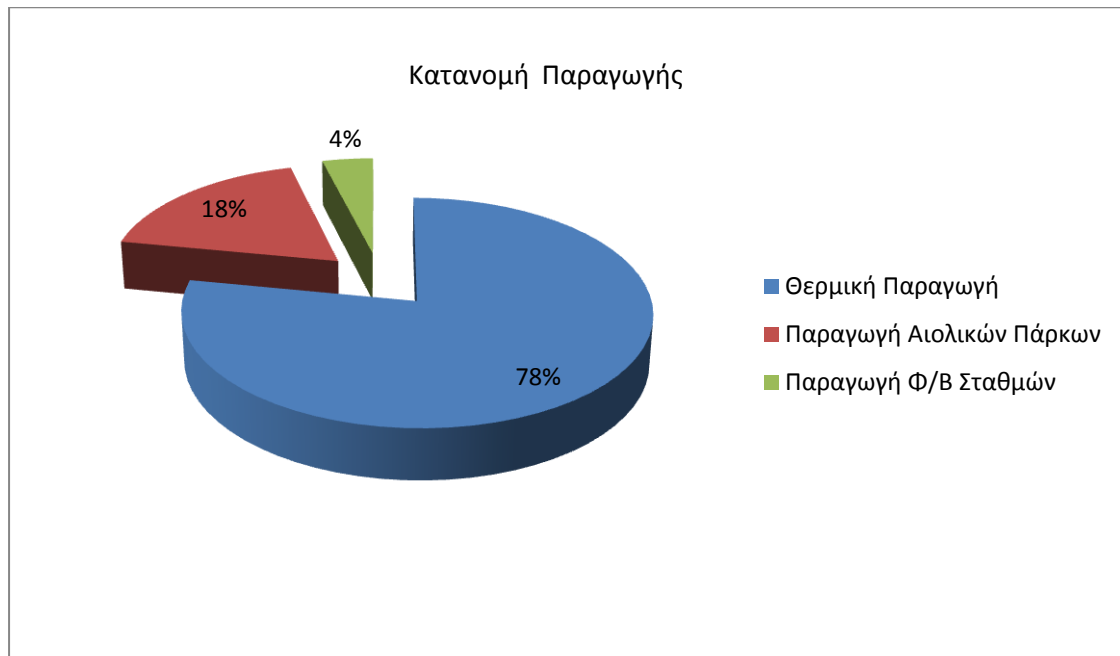
Πίνακας 2: Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής του ΣΗΕ της Κρήτης^[4]

Σταθμός Παραγωγής	Λινοπεράματα 66 kV		Λινοπεράματα 150 kV						Χανιά						Αθρινόλακκος	
	Steam 2,3	Gas 2	Gas 3	Gas 4	Gas 5	Steam 4	Steam 5,6	Diesel 1,2,3,4	Gas 1	Gas 5	Gas CC 6,7	Steam CC 1	Gas 11, 12	Gas 13	Diesel 1,2,3,4	Steam 1,2
SN (MVA)	18.75	21.7	63.5	18.4	47.5	31.25	31.25	15.35	21.3	39.8	56.87	55.5	79	47.5	64.18	62.5
cosφ	0.8	0.85	0.8	0.8	0.8	0.8	0.85	0.8	0.85	0.85	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
VN (kV)	15.75	6.3	11.5	11	11.5	6.3	6.3	10	6.3	11	11.5	11.5	11.5	11.5	13.8	11
T'd0 (sec)	5.4	8.66	9.7	6.0	9.6	10.5	7.5	5.2	9.4	8.16	6.8	6.8	6.5	9.6	7.987	9.2
T''d0 (sec)	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.061	0.05	0.069	0.12	0.12	0.023	0.06	0.06	0.05
T'q0 (sec)	1	1	1	0.4	-	1	1	-	1	0.4	1	1	1	-	-	2.8
T''q0 (sec)	0.07	0.42	0.50	0.16	0.12	0.5	0.5	0.15	0.05	0.67	0.5	0.5	0.1	0.12	0.173	0.05
H (MWsec/MVA)	2.57	2.36	2	2.50	1.50	2.95	3.2	2.45	2.13	3	2.6	2	4.35	1.5	4.9	2.76
Xd (p.u.)	1.35	2.1	2.52	2.04	1.88	2.173	1.7	1.54	2.06	1.5	1.77	1.9	2.3	1.88	1.223	2.04
Xq (p.u.)	1.215	2	2.30	1.93	1	2.1	1.64	0.89	2	1.45	1.7	1.82	2.15	1	0.794	1.87
X'd (p.u.)	0.24	0.223	0.21	0.20	0.30	0.197	0.2	0.46	0.135	0.175	0.14	0.15	0.28	0.3	0.321	0.247
X'q (p.u.)	0.48	0.465	0.26	0.40	-	0.532	0.532	-	0.515	0.35	0.4	0.4	0.48	-	-	0.35
X''d (p.u.)	0.14	0.157	0.154	0.150	0.200	0.136	0.125	0.35	0.09	0.126	0.09	0.097	0.165	0.2	0.213	0.181
XI (p.u.)	0.09	0.09	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.23	0.08	0.118	0.107	0.116	0.119	0.12	0.162	0.13

Τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα αντλήθηκαν από το ερευνητικό έργο "Μελέτες Ανάπτυξης Συστήματος και Ευστάθειας Αυτόνομων Νησιωτικών Συστημάτων με Υβριδικούς Σταθμούς ΑΠΕ και Αντλησιοταμίευση" που πραγματοποιήθηκε το 2011 στο ΕΜΠ εκ μέρους του ΕΠΙΣΕΥ. Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία, λοιπόν, υπάρχουν συνολικά 27 γεννήτριες, εκ των οποίων 8 είναι Diesel, 8 ατμοστρόβιλοι και οι υπόλοιπες 11 αεριοστρόβιλοι. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για τους αναγραφόμενους συντελεστές ισχύος ανέρχεται στα 936 MW.

3.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Είναι γνωστό πως η χώρα μας είναι μια από τις λίγες στις οποίες υπάρχει πρόσφορο έδαφος για την παραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Η παραγωγή αυτή αποτελείται κυρίως από αιολική, η ηλιακή και τα υδροηλεκτρικά. Κυρίαρχο ρόλο στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα έχει παίξει η αιολική ενέργεια, ως περισσότερο εδραιωμένη τεχνολογία σε σύγκριση με την ηλιακή, καθώς μόλις τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μικρού ή μεγάλου μεγέθους. Αυτή η εικόνα δεν αλλάζει για την παραγωγή των μη διασυνδεδεμένων νησιών, κάτι που φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 18: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά Για Το Έτος 2013^[19]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

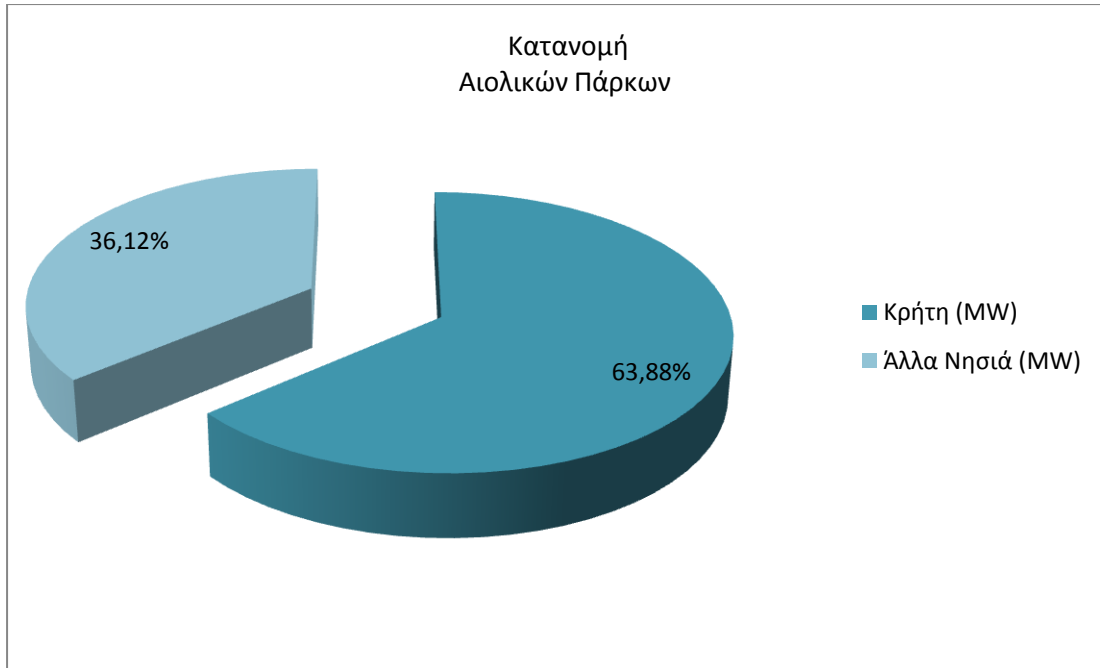
Είναι προφανές από το σχήμα πως η διείσδυση της αιολικής παραγωγής είναι σημαντικά υψηλότερη από την αντίστοιχη της ηλιακής.

Η Κρήτη, πιο συγκεκριμένα, ως νησί με υψηλό αιολικό αλλά και ηλιακό δυναμικό, έχει δώσει μεγάλο βάρος στην ανάπτυξη σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ειδικά τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στον τομέα αυτό. Ως γνωστόν, κάθε χρόνο σε όλα τα νησιά αλλά ειδικά στην Κρήτη το δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οριακά ανταποκρίνεται στην ζήτηση. Για να δοθεί μια λύση στο πρόβλημα αυτό, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί εγκατάσταση περισσότερων συμβατικών μονάδων παραγωγής, κάτι που πάντα γίνεται με μεγάλες καθυστερήσεις και όχι χωρίς προβλήματα. Για το λόγο αυτό, η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ μπορεί να στηρίξει σημαντικά το ήδη υπάρχον σύστημα παραγωγής και να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος του νησιού.

Βέβαια, πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό πως οι ΑΠΕ λειτουργούν συμπληρωματικά στο ηλεκτρικό σύστημα και δεν αποτελούν από μόνες τους λύση του ενεργειακού προβλήματος. Μπορούν όμως να συμβάλλουν στην αύξηση του δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής του νησιού αλλά και να αντικαταστήσουν μέρος των συμβατικών καυσίμων. Παρά την συνεχή διαμόρφωση σχεδίων για την πλήρη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες, δεν έχουμε φτάσει ακόμη σε σημείο όπου αυτό είναι εφικτό. Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη αναφορά στα αιολικά πάρκα και στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στην Κρήτη.

3.4.1 Αιολικά πάρκα

Η αιολική ενέργεια, όπως προελέχθη, αποτελεί κεντρικό πυλώνα της στρατηγικής για την προώθηση και ενίσχυση της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ. Για το λόγο αυτό στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου υπάρχουν σήμερα αιολικές εγκαταστάσεις. Για να γίνει απτή η κατανομή των αιολικών πάρκων στα νησιά και η σημαντική θέση που κατέχει η Κρήτη ανάμεσα σε αυτά, παρατίθεται το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 19: Ποσοστιαία Κατανομή Εγκατεστημένης Ισχύος Αιολικών Πάρκων^[19]

(Σημείωση: Τα άλλα νησιά περιλαμβάνουν Κω, Ρόδο, Κάρπαθο, Μήλο, Λέρο, Κάλυμνο, Λέσβο, Λήμνο, Σάμο, Χίο, Σύρο, Νάξο, Μύκονο και άλλα μικρότερα)

Το παραπάνω σχήμα είναι ιδιαίτερα διαφωτιστικό: Από τα συνολικά 287,32 MW αιολικών πάρκων που έχουν εγκατασταθεί στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, το 64% (183,54 MW) βρίσκονται στην Κρήτη, ενώ μόνο το 36% περίπου (103,78 MW) βρίσκεται σε όλα τα υπόλοιπα νησιά! Είναι προφανές, λοιπόν, η σημασία της Κρήτης όσον αφορά την αιολική ενέργεια.

Το πρώτο αιολικό πάρκο της Κρήτης εγκαταστάθηκε στη Σητεία το 1993 από τη ΔΕΗ, με τη συνολική του ισχύ σήμερα να φτάνει τα 6,6 MW. Το πρώτο ιδιωτικό αιολικό πάρκο εγκαταστάθηκε επίσης στη Σητεία το 1998 μετά από το σχετικό νόμο 2244/94 που το επέτρεπε και έχει ισχύ περί τα 10 MW.

Από τότε έχουν εγκατασταθεί συνολικά πάνω από 165 MW αιολικής ισχύος στο νησί, ενώ αναμένεται να εγκατασταθούν ακόμη περισσότερα τα επόμενα χρόνια.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα υφιστάμενα αιολικά πάρκα στην Κρήτη, η ονομαστική τους ισχύ, ο τρόπος σύνδεσης αλλά και ο αριθμός των ανεμογεννητριών.

Σημείωση: όλα τα στοιχεία που παρατίθενται προέρχονται από δεδομένα που ίσχυαν στο τέλος του έτους 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Πίνακας 3: Υφιστάμενα Αιολικά Πάρκα⁴

Υποσταθμός	Εγκατεστημένη Ισχύς (kW)	Τρόπος Σύνδεσης	Τύπος Α/Γ		
Αγυιά	5400	Αποκλειστική Γραμμή ΜΤ	4		
	5400		4		
Καστέλι	9350		3		
	6300		3		
Ηράκλειο ΙΙΙ	5950		3		
	4950		1		
Μοίρες	5250		4		
	7200		4		
Αγ. Βαρβάρα	14450		Υ/Σ Παραγωγής	3	
Αγ. Νικόλαος	11900		Αποκλειστική Γραμμή ΜΤ	3	
	5100		Δίκτυο Διανομής	1	
	1500			1	
	4800			1	
	5400			1	
	2700	1			
	3000	4			
	Σητεία	4500		Αποκλειστική Γραμμή ΜΤ	3
		9900		1	
		9900		1	
3000		1			
4800		1			
500		1			
Μαρωνιά	1200	Δίκτυο Διανομής	4		
	5000	4			
	10000	Υ/Σ Παραγωγής	4		
	10000	4			

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

	2500		4
	3000		1
Λινοπεράματα	3600	Δίκτυο Διανομής	1
Σύνολο	166,55 MW		

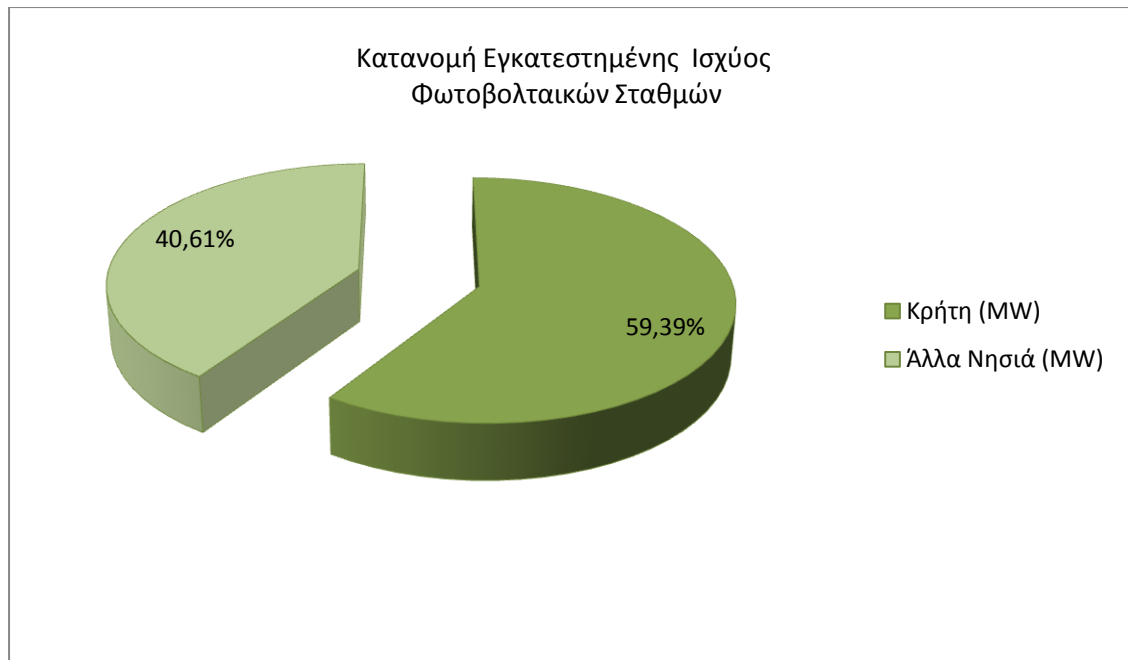
3.4.2 Φωτοβολταϊκά πάρκα

Τα φωτοβολταϊκά panels ως τεχνολογία δεν είναι σε καμία περίπτωση καινούρια, αφού ο τρόπος λειτουργίας τους είναι γνωστός εδώ και δεκαετίες. Πρόσφατα όμως έχει παρουσιαστεί περισσότερο ενδιαφέρον για την εγκατάσταση τους όχι μόνο σε μεγάλα πάρκα, αλλά και σε μικρότερη κλίμακα, σε κατοικίες, ακόμη και σε συσκευές. Αυτό προέκυψε κυρίως ως αποτέλεσμα της γρήγορης πτώσης (τα τελευταία χρόνια) των τιμών για την κατασκευή των panels. Ενδεικτικά, μέσα σε 4 χρόνια, από τον Ιανουάριο του 2008 και μετά, η τιμή για τις ηλιακές κυψέλες στη Γερμανία έπεσαν από 3€ σε 1€ ανά watt αιχμής. Οι τιμές αυτές κάνουν μια επένδυση στην συγκεκριμένη τεχνολογία οικονομικά βιώσιμη ακόμα και για ιδιώτες, ειδικά με τα feed-in tariffs που εξαλείφουν την ενδεχόμενη ζημία που θα είχε ο επενδυτής. Τα επόμενα χρόνια αναμένεται να συνεχιστεί η πτωτική τάση των τιμών, κάτι που θα οδηγήσει σε grid parity, κάτι που σημαίνει πως τα φωτοβολταϊκά θα μπορούν πλέον να παράγουν ενέργεια με (σταθμισμένο) κόστος ίσο ή και χαμηλότερο από την τιμή αγοράς ενέργειας από το δίκτυο. Όταν επιτευχθεί αυτό, σημαίνει πως η συγκεκριμένη ΑΠΕ (στην περίπτωση μας η ηλιακή) είναι πλέον υποψήφια για μαζική παραγωγή χωρίς την ανάγκη επιχορηγήσεων από την πλευρά της πολιτείας. Έχει ανακοινωθεί πως ήδη η Αυστραλία έχει πετύχει Grid Parity από το 2012.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, είναι λογική η ραγδαία αύξηση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων που σημειώνεται όχι μόνο στην Κρήτη αλλά και σε όλη την Ελλάδα. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποδοθεί όπως είπαμε στη σταδιακή ωρίμανση της τεχνολογίας ως βιώσιμη εναλλακτική μέθοδος παραγωγής ενέργειας, αλλά στην πραγματικότητα η ταχύτατη αυτή αύξηση οφείλεται κατά κόρον στα οικονομικά κίνητρα που έδωσε η πολιτεία για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

Παρακάτω δίνονται στοιχεία για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι στα μη διασυνδεδεμένα νησιά του Αιγαίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 20: Ποσοστιαία Κατανομή Εγκατεστημένης Ισχύος Φωτοβολταϊκών Σταθμών

Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία το 59% της εγκατεστημένης ισχύος από φωτοβολταϊκά βρίσκεται στην Κρήτη και το υπόλοιπο 41% στα άλλα νησιά.

4. Ιστορικό διασύνδεσης και σχετικές μελέτες

4.1 Ιστορικό της διασύνδεσης

Η κατασκευή υποβρύχιων διασυνδέσεων των νησιών ξεκίνησε από τη ΔΕΗ τη δεκαετία του '60 στην Κέρκυρα με καλώδια 15 kV, με τη σύνδεση των νησιών του Ιονίου να ολοκληρώνεται τη δεκαετία του '70 με καλώδια των 150 kV.

Όσον αφορά την Κρήτη, η πρώτη μελέτη έγινε το 1968 και κατέληξε στο συμπέρασμα πως, με τα δεδομένα της εποχής, ήταν οικονομικά ασύμφορη η πραγματοποίηση της διασύνδεσης τουλάχιστον για μια δεκαετία. Καθοριστικό παράγοντα στην απόφαση αυτή έπαιξε το πολύ μεγάλο (απαγορευτικό για την εποχή) βάθος πόντισης των καλωδίων. Επομένως, το σημαντικό έργο της διασύνδεσης της Κρήτης με το εθνικό σύστημα παρέμεινε σε αδράνεια για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια νέες μελέτες το 1981 κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η διασύνδεση θα ήταν συμφέρουσα σε σύγκριση με την αυτόνομη ανάπτυξη των σταθμών παραγωγής στο νησί. Προτάθηκε μάλιστα η διετία 1994-95 ως περίοδος εντάξεως στο κεντρικό σύστημα. Επόμενες μελέτες πραγματοποιήθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '80, στις οποίες αναθεωρήθηκαν τα στοιχεία κόστους, λήφθηκαν υπόψη τα αποτελέσματα μελετών της μορφολογίας του βυθού, και εξετάστηκαν οι διάφορες διαθέσιμες εναλλακτικές για τη διασύνδεση (ισχύς συνδέσμου, συνεχής τάση κ.ο.κ.).

Για να γίνει κατανοητή η κύρια αιτία για την οποία το έργο της διασύνδεσης της Κρήτης, αλλά και των άλλων νησιών, δεν έχει προχωρήσει μέσα σε τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα, πρέπει το ζήτημα να εξεταστεί κι από την οικονομική του σκοπιά. Συγκεκριμένα, ενώ υπάρχει αναμφισβήτητα η τεχνολογία, η τεχνογνωσία και το ανθρώπινο δυναμικό για την ολοκλήρωση ενός τέτοιου έργου κι ενώ από καθαρά τεχνικής πλευράς η διασύνδεση στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πια η καλύτερη εναλλακτική που είναι διαθέσιμη, εντούτοις δεν εκδηλώνεται έντονο επενδυτικό ενδιαφέρον για το έργο. Σημαντική αιτία είναι το γεγονός ότι οποιαδήποτε εξοικονόμηση προκύψει από τη διασύνδεση (κυρίως από τη μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής) θα μεταφερθεί σε όλους τους καταναλωτές κι όχι στη ΔΕΗ ή τον οποιοδήποτε επενδυτή, αφού οι προηγούμενοι επωμίζονται το επιπλέον κόστος της ηλεκτροπαραγωγής στα νησιά μέσω των Υπηρεσιών Κοινής Ωφέλειας που ενσωματώνονται σε κάθε λογαριασμό. Επομένως δεν υπάρχει κάποιο άμεσο κέρδος για τον επενδυτή.

Επειδή λοιπόν το θέμα της διασύνδεσης (με την Κρήτη τουλάχιστον) βρίσκεται ακόμα στο ερευνητικό στάδιο, οι προοπτικές ανάπτυξης του συστήματος του νησιού καλύπτουν στόχους και σε μεσοπρόθεσμο βάθος χρόνου. Αυτό σημαίνει πως, μεσοπρόθεσμα, καλύπτεται η αύξηση της ζήτησης με νέες συμβατικές μονάδες πετρελαίου και με ΑΠΕ.

Η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος σχεδιάζεται να γίνει με μονάδες συνδυασμένου κύκλου LNG (υγροποιημένου φυσικού αερίου) που θα αντικαταστήσουν τις ήδη υπάρχουσες μονάδες πετρελαίου με χαμηλό βαθμό απόδοσης, με την προϋπόθεση ότι θα ληφθεί η απόφαση να γίνει τερματικός σταθμός LNG στην Κορακιά.

4.2 Στόχοι και οφέλη της διασύνδεσης

Τις τελευταίες δεκαετίες, το απομονωμένο σύστημα της Κρήτης παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα. Οι κύριες αιτίες για αυτά τα προβλήματα είναι η οριακή κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού το καλοκαίρι, το υψηλό κόστος παραγωγής των μονάδων του νησιού, οι οποίες χρησιμοποιούν Diesel και Μαζούτ ως καύσιμο, αλλά και η παλαιότητα πολλών από αυτές, κάτι που συνεπάγεται χαμηλό βαθμό απόδοσης, μειωμένη διαθεσιμότητα και επιπλέον επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Ένα επιπλέον πρόβλημα είναι η μειωμένη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, παρά το μεγάλο αιολικό και ηλιακό δυναμικό, γεγονός που οφείλεται στα προβλήματα ευστάθειας που μπορεί να δημιουργήσει η υψηλή διείσδυση σε ένα απομονωμένο ηλεκτρικό σύστημα.

Ως ενδεχόμενη λύση του προβλήματος εξετάστηκε και η διασύνδεση της Κρήτης με το Διασυνδεδεμένο Σύστημα, αφού θα έχει ως αποτέλεσμα:

- i. Τη μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων λόγω ρύπανσης μέσω της παύσης της λειτουργίας των συμβατικών σταθμών.
- ii. Την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού εν μέρει από ΑΠΕ, οι οποίες με τη διασύνδεση θα καταφέρουν να αναπτυχθούν ακόμη περισσότερο, και κατά το υπόλοιπο μέρος από τις μονάδες παραγωγής του Διασυνδεδεμένου Συστήματος.
- iii. Τη διοχέτευση του τμήματος της παραγωγής από ΑΠΕ που δεν είναι δυνατόν να απορροφηθεί από το νησί προς το διασυνδεδεμένο σύστημα για την κάλυψη άλλων αναγκών.

Το θέμα της διασύνδεσης αυτόνομων νησιών με το ηπειρωτικό σύστημα επανήλθε στο προσκήνιο τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της ωρίμανσης των τεχνολογιών που καθιστούν ένα τέτοιο εγχείρημα όχι μόνο δυνατό αλλά και οικονομικά συμφέρον, και λόγω της αυξανόμενης δραστηριότητας στον τομέα αυτό σε όλες τις χώρες του κόσμου (λ.χ. τα HVDC δίκτυα που κατασκευάζονται στη Βόρεια Θάλασσα).

Όσον αφορά την Κρήτη συγκεκριμένα, είναι δεδομένο πως υπάρχει στο νησί πολύ μεγάλο δυναμικό ΑΠΕ, που σε βάθος χρόνου μπορεί να υπερκαλύψει τις ανάγκες του σε ενέργεια, ενώ έχει εκφραστεί ενδιαφέρον κι από πολλούς ιδιώτες επενδυτές. Όμως δεν είναι γνωστός ο αριθμός και ο ρυθμός ανάπτυξης των εγκαταστάσεων ΑΠΕ που μπορούν να πραγματοποιηθούν, κυρίως λόγω της αβεβαιότητας των αδειοδοτήσεων. Λόγω αυτής της αβεβαιότητας, στις περισσότερες μελέτες που έχουν γίνει εξετάζονται διάφορα σενάρια διείσδυσης, τυπικά 50%, 75% και 100% της αιχμής.

Σε κάθε περίπτωση, η υλοποίηση του έργου εξυπηρετεί κυρίως τις ενεργειακές ανάγκες της Κρήτης, θα έχει όμως θετικές επιπτώσεις και στο διασυνδεδεμένο σύστημα, αφού η πλεονάζουσα ενέργεια του νησιού θα καλύπτει μέρος των αναγκών του.

Οι βασικοί στόχοι που τίθενται σε ένα τέτοιο έργο είναι οι εξής:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

- Μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας που θα οδηγήσει στη μείωση του ετήσιου κόστους των Υπηρεσιών Κοινής Ωφέλειας, σχεδόν το 50% του οποίου οφείλεται στην ηλεκτροδότηση της Κρήτης.
- Μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την ηλεκτροπαραγωγή στο νησί.
- Εξασφάλιση ομαλής και αξιόπιστης τροφοδότησης του νησιού.
- Μέγιστη αξιοποίηση του μεγάλου δυναμικού ΑΠΕ του νησιού που δεν είναι δυνατή χωρίς τη διασύνδεση. Η αξιοποίηση αυτή οδηγεί στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα, και στην ενίσχυση των στόχων για μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ και μείωση εκπομπών CO₂.

4.3 Μελέτη ΡΑΕ-ΔΕΣΜΗΕ

Μια τεchnοοικονομική μελέτη της ΡΑΕ και του ΔΕΣΜΗΕ το 2011 (Μελέτη Ανάπτυξης του Ηλεκτρικού Συστήματος της Κρήτης-Διασύνδεση με το Ηπειρωτικό Σύστημα) εξέτασε 3 σενάρια ανάπτυξης με διασύνδεση:

- **Σενάριο Α:** διασύνδεση της Κρήτης με την Πελοπόννησο με έναν υβριδικό σύνδεσμο DC ικανότητας $2 \times 350 \text{ MW} = 700 \text{ MW}$ μήκους 370km, ο οποίος θα εκκινεί από την Κορακιά, θα φτάνει με υποβρύχιο καλώδιο μήκους 250km έως τη Μονεμβασιά και θα συνεχίζει με εναέρια Γ.Μ. μήκους 120km μέχρι το μελλοντικό ΚΥΤ Μεγαλόπολης. Για το σενάριο αυτό προβλέπεται διατήρηση ψυχρής εφεδρείας στο νησί σε ποσοστό 90% της ετήσιας αιχμής, ώστε να διασφαλιστεί η τροφοδότηση σε όλες τις περιπτώσεις βλαβών.



Εικόνα 21: Διασύνδεση Κρήτης με το σύστημα-Σενάριο Α

- **Σενάριο Β:** Χωρίζεται σε δύο υποπεριπτώσεις. Το σενάριο Β1 προβλέπει τη διασύνδεση της Κρήτης με ΚΥΤ της Αττικής (πιθανώς ΚΥΤ Αχαρνών) με έναν υβριδικό σύνδεσμο DC ικανότητας $2 \times 500 \text{ MW} = 1000 \text{ MW}$, ο οποίος θα εκκινεί από την Κορακιά και θα φτάνει με υποβρύχιο καλώδιο μήκους 380km στην Αττική, όπου θα συνδέεται με κατάλληλο υπόγειο καλώδιο ή εναέρια Γ.Μ. με ΚΥΤ της Αττικής. Για τους ίδιους λόγους με το σενάριο Α, προβλέπεται να διατηρηθεί σημαντική συμβατική παραγωγή στο νησί (90% της ετήσιας αιχμής).



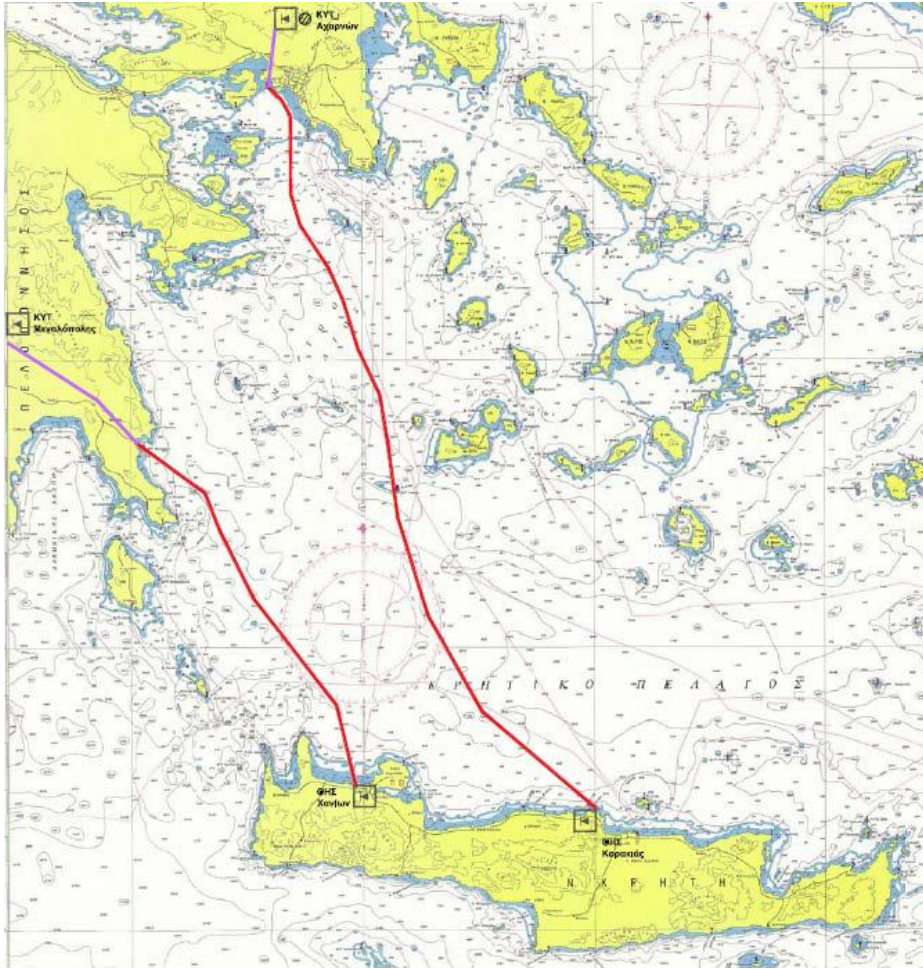
Εικόνα 22: Διασύνδεση της Κρήτης με το σύστημα-Σενάριο Β

- Για το **σενάριο B2**, προβλέπεται διασύνδεση της Κρήτης με την Αττική και την Πελοπόννησο σε δύο στάδια με δύο απλούς συνδέσμους DC ικανότητας $2 \times 500 \text{ MW} = 1000 \text{ MW}$. Ο πρώτος σύνδεσμος θα εκκινεί από την Κορακιά και θα φτάνει με υποβρύχιο καλώδιο μήκους 380km στην Αττική, όπου θα συνδέεται με κατάλληλο υπόγειο καλώδιο ή εναέρια Γ.Μ. με ΚΥΤ της Αττικής (πιθανώς ΚΥΤ Αχαρνών). Ο δεύτερος σύνδεσμος, ο οποίος προβλέπεται να εγκατασταθεί σε 2ο στάδιο, ανάλογα με την εξέλιξη της ζήτησης και την πορεία των επενδυτικών σχεδίων ΑΠΕ, θα εκκινεί από ΒΔ σημείο της Κρήτης (κοντά στα Χανιά), θα φτάνει με υποβρύχιο καλώδιο μήκους 250km έως τη Μονεμβασιά και θα συνεχίζει με εναέρια Γ.Μ. μήκους 120km μέχρι το μελλοντικό ΚΥΤ Μεγαλόπολης.



Εικόνα 23: Διασύνδεση της Κρήτης με το σύστημα- Σενάριο B2

- Το **σενάριο Γ** είναι πανομοιότυπο με το B2, με μόνη διαφορά πως θα έχουμε γραμμές $2 \times 1000 \text{ MW} = 2000 \text{ MW}$. στο σενάριο αυτό προβλέπεται έως την εγκατάσταση του δεύτερου συνδέσμου να διατηρηθεί σημαντική συμβατική παραγωγή στο νησί σε ψυχρή εφεδρεία (σε ποσοστό 100% της ετήσιας αιχμής φορτίου), προκειμένου να διασφαλίζεται η τροφοδότησή του σε όλες τις περιπτώσεις βλαβών, συμπεριλαμβανομένης και της απώλειας του συνδέσμου DC, δεδομένου ότι τα καλωδιακά του τμήματα έχουν κοινή όδευση, ενώ τα εναέρια αναρτώνται επί κοινού φορέα. Μετά την εγκατάσταση του 2ου συνδέσμου DC είναι δυνατή η σταδιακή απομάκρυνση έως και του συνόλου της τοπικής συμβατικής παραγωγής.



Εικόνα 24: Διασύνδεση της Κρήτης με το σύστημα- Σενάριο Γ

Τα αποτελέσματα της ανωτέρω ανάλυσης έχουν ως εξής:

- ✓ Μεταξύ των διαφορετικών λύσεων στο πρόβλημα της Κρήτης (ανάπτυξη με φυσικό αέριο, ανάπτυξη με πετρέλαιο και διασύνδεση), βέλτιστη οικονομικά και περιβαλλοντικά είναι η λύση της διασύνδεσης. Αυτό συμβαίνει διότι έχει χαμηλότερο συνολικό κόστος ηλεκτροπαραγωγής και επιτρέπει μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ.
- ✓ Επιπλέον, η διασύνδεση με το διασυνδεδεμένο σύστημα πλεονεκτεί έναντι της αυτόνομης ανάπτυξης με κάποιο καύσιμο γιατί δε δεσμεύει την ηλεκτροδότηση του νησιού με ένα αποκλειστικό, εισαγόμενο καύσιμο του οποίου η τιμή κυμαίνεται διεθνώς. Αντιθέτως, η διασύνδεση επιτρέπει στο σύστημα του νησιού να επωφελείται άμεσα από τις εξελίξεις και τεχνολογικές καινοτομίες που μπορεί να προκύψουν στο μέλλον από ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο στην Ευρώπη.

Όσον αφορά στα τρία σενάρια:

- Το **σενάριο Α** παρουσιάζει ελάχιστο κόστος επένδυσης και συνολικό κόστος αλλά και υψηλό συντελεστή εκμετάλλευσης καλωδίου, επομένως αποτελεί τη βέλτιστη οικονομοτεχνική λύση. Τα μειονεκτήματά του, όμως, δεν είναι αμελητέα, καθώς για να πραγματοποιηθεί προαπαιτούμενη ουσιαστικά είναι η επέκταση του δικτύου των 400 kV και στην Πελοπόννησο (αφού πρέπει να έχει ολοκληρωθεί το ΚΥΤ Μεγαλόπολης), ενώ δεν επιτυγχάνεται και η επιθυμητή ανάπτυξη των ΑΠΕ στο νησί.
- Το **σενάριο Β** (2 x 500 MW) παρουσιάζει ενδιάμεσες τιμές στα παραπάνω σημαντικά μεγέθη (κόστος επένδυσης κλπ.), θεωρείται επομένως μια μεσαία λύση από οικονομοτεχνικής άποψης. Έχει εντούτοις το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα.
- Το **σενάριο Γ** έχει πολύ υψηλό κόστος επένδυσης, υψηλό συνολικό κόστος και πολύ χαμηλό συντελεστή εκμετάλλευσης (19%). Πολύ σημαντικό πλεονέκτημά είναι βέβαια ότι γίνεται δυνατή η παύση της λειτουργίας των συμβατικών σταθμών, πάλι όμως αποτελεί ακραία λύση η οποία δύσκολα μπορεί να πραγματοποιηθεί.

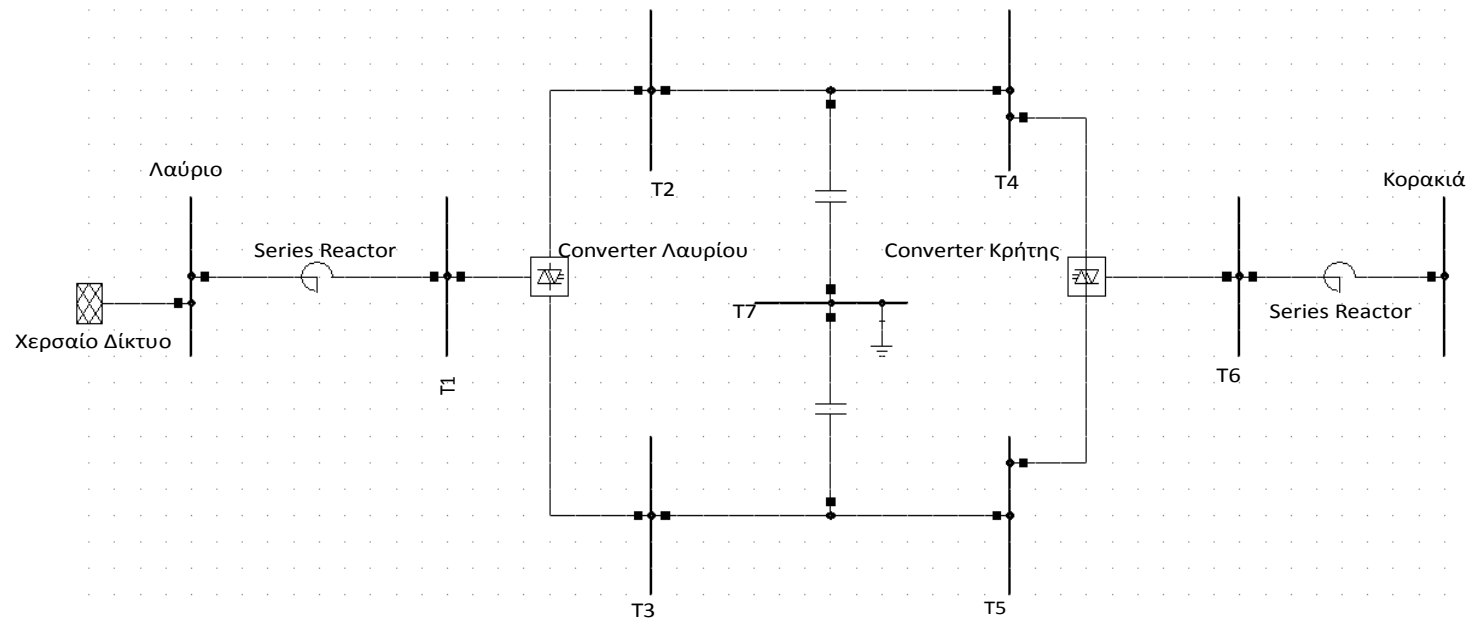
Σύμφωνα λοιπόν με τα δεδομένα της μελέτης αυτής, αλλά και από αντίστοιχες που έχουν πραγματοποιηθεί, καταλήγουν πως η λύση της διασύνδεσης, στα περισσότερα σενάρια που έχει συμπεριληφθεί, παρουσιάζεται ως μια λογική εξέλιξη στο σύστημα της Κρήτης και παράλληλα καταλήγει ως οικονομικότερη λύση από την αυτόνομη ανάπτυξη.

5. Μοντελοποίηση και έλεγχος της HVDC διασύνδεσης και του συστήματος της Κρήτης

5.1 Το κύκλωμα του HVDC συνδέσμου

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα που υλοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση της διασύνδεσης:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Όπως είπαμε και νωρίτερα, η διασύνδεση είναι ανάμεσα στο Λαύριο και την Κορακιά, που βρίσκεται κεντρικά και βόρεια του νησιού. Χρησιμοποιήθηκαν μετατροπείς με 2 DC συνδέσεις ώστε να έχουμε διπλή γραμμή, μια θετικής και μια αρνητικής πολικότητας. Το επίπεδο της AC τάσης επιλέχθηκε να είναι στα 150 kV, διότι αυτή είναι η τάση στο σύστημα μεταφοράς της Κρήτης. Το επίπεδο της DC τάσης επιλέχθηκε με βάση τη σχέση (3) του κεφαλαίου 2 ως εξής:

Η ελάχιστη DC τάση που μπορούμε να έχουμε χωρίς να υπάρχει κορεσμός του μετατροπέα στη μέθοδο SPWM υπολογίζεται από την σχέση (3) του κεφαλαίου 2 για $M=1$:

$$u_{dcmin} = \frac{u_{\pi min}}{0.612}$$

όπου

$u_{\pi max}$: η μέγιστη αποδεκτή AC τάση σταθερής κατάστασης, τυπικά 105% της ονομαστικής, δηλαδή στην περίπτωσή μας:

$$u_{\pi min} = 0.95 * u_{\pi n} = 0.95 * 150 = 142.5 \text{ kV}$$

Άρα από την προηγούμενη σχέση είναι:

$$u_{dcmin} = \frac{142.5}{0.612} \approx 233 \text{ kV}$$

Η μέγιστη δυνατή DC τάση εξαρτάται από την ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο δείκτης M. Στις περισσότερες εφαρμογές είναι $M < 0.9$. Τώρα ισχύει η σχέση:

$$u_{dcmax} = \frac{u_{\pi max}}{0.612 * P_m}$$

όπου

$u_{\pi max}$: η μέγιστη αποδεκτή AC τάση σταθερής κατάστασης, τυπικά 105% της ονομαστικής, δηλαδή στην περίπτωσή μας:

$$u_{\pi max} = 1.05 * u_{\pi n} = 1.05 * 150 = 157.5 \text{ kV}$$

Και επιλέγοντας δείκτη διαμόρφωσης $P_m=0.85$, από την προηγούμενη σχέση είναι:

$$u_{dcmax} = \frac{157.5}{0.612 * 0.85} \approx 303 \text{ kV}$$

Με βάση τα παραπάνω, έχουμε τον περιορισμό $233 \text{ kV} < u_{dc} < 303 \text{ kV}$, οπότε επιλέγουμε ως dc τάση τα 250 kV.

Πολύ σημαντική είναι και η επιλογή των επαγωγών που τοποθετούνται ανάμεσα στους μετατροπείς και το δίκτυο. Ρυθμίζουν τα ρεύματα που διέρχονται από

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

αυτά και λειτουργούν επίσης ως φίλτρα για τον περιορισμό των αρμονικών που δημιουργούνται από τον μετατροπέα. Η παρακάτω σχέση δείχνει πως υπολογίζεται η αντίδραση αυτών των επαγωγικών φίλτρων.

$$X_l = x_l * Z_b \Rightarrow L * \omega = x_l * Z_b \Rightarrow L = \frac{x_l * Z_b}{2 * \pi * f}$$

όπου:

L η επαγωγή του πηνίου

x_l η α.μ. αντίδραση του πηνίου

Z_b η βασική αντίσταση του μετατροπέα ($Z_b = \frac{V_{nAC}^2}{S_n}$)

Για φαινόμενη ισχύ 300 MVA και τάση AC 150 kV έχουμε βασική αντίσταση 75 Ω και επομένως για τάση βραχυκύκλωσης 10% (συνηθίζονται τιμές 0,1 με 0,2) προκύπτει φίλτρο επαγωγής 23,9 mH.

Κρίνεται απαραίτητη και η αναφορά στη μέθοδο επιλογής DC πυκνωτών, οι οποίοι λειτουργούν σαν αναρτήσεις στην DC τάση, αποθηκεύοντας ενέργεια όταν η τάση είναι υψηλότερη από το κανονικό και δίνοντας ενέργεια όταν η DC τάση πέφτει χαμηλότερα από την ονομαστική τιμή της. Επομένως το στιγμιαίο ρεύμα που ρέει στον πυκνωτή είναι:

$$i_c = C_{dc} \frac{du_{dc}}{dt}$$

Η κυμάτωση της DC τάσης (οι αρμονικές είναι υψηλές λόγω της διαμόρφωσης αλλά και πάλι προκαλούν μια μικρή κυμάτωση) πρέπει να είναι επαρκώς μικρή για να θεωρηθεί η τάση πρακτικά σταθερή. Αυτό θέτει ένα κάτω όριο κατά τη διαστασιολόγηση των πυκνωτών, αφού ένας μεγάλος πυκνωτής φορτίζεται και εκφορτίζεται πιο αργά με αποτέλεσμα η τάση στα άκρα του να παρουσιάζει μικρότερη κυμάτωση. Οι μικρότερες μεταβολές της τάσης στους μεγάλους πυκνωτές κρύβει άλλο ένα πλεονέκτημα τους, που φαίνεται στην παραπάνω σχέση: διαρρέονται από μικρότερο ρεύμα, το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερο χρόνο ζωής, μια παράμετρο που πάντα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη. Το μειονέκτημα όμως πως, λόγω ακριβώς του μεγαλύτερου χρόνου φόρτισης και εκφόρτισης, οι μεγάλοι πυκνωτές έχουν χαμηλή απόκριση στις αλλαγές της τάσης. Στα μικρότερα μεγέθη είναι δυνατή η γρήγορη αλλαγή της τάσης κι επομένως πιο γρήγορος ο έλεγχος της ενεργού ισχύος που μεταφέρεται. Η επιλογή, επομένως, των πυκνωτών αποτελεί ένα συμβιβασμό ανάμεσα σε αυτά τα χαρακτηριστικά. Οι σχέσεις που εκφράζουν αυτή την ισορροπία είναι:

$$C_{dc} = \frac{S_N}{u_{dcN} * \Delta u_{dc} * 2 * \omega_e}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

$$\tau = \frac{0,5 * C_{dc} * u_{dc}^2}{S_N}$$

όπου:

u_{dcN} η ονομαστική DC τάση

S_N η ονομαστική φαινόμενη ισχύς του μετατροπέα

τ η σταθερά χρόνου που είναι ίση με το χρόνο που χρειάζεται για την πλήρη φόρτιση του πυκνωτή από μηδενική τάση στην ονομαστική όταν στο μετατροπέα υπάρχει συνεχής παροχή ενεργού ισχύος S_N .

Δu_{dc} η επιτρεπόμενη κυμάτωση (peak to peak)

ω_e η ηλεκτρική συχνότητα

Η πρώτη σχέση μας δίνει το κάτω και η δεύτερη το πάνω όριο για τους πυκνωτές. Για να υπάρχει μικρή κυμάτωση και μεταβατική υπέρταση στην DC τάση, επιλέγεται σταθερά τ μικρότερη των 10 ms (8 ms). Με την τιμή αυτή προκύπτει από τη δεύτερη σχέση παίρνουμε χωρητικότητα 76,8 μ F και επομένως κυμάτωση 10% από την πρώτη σχέση, τιμή που θεωρείται αποδεκτή.

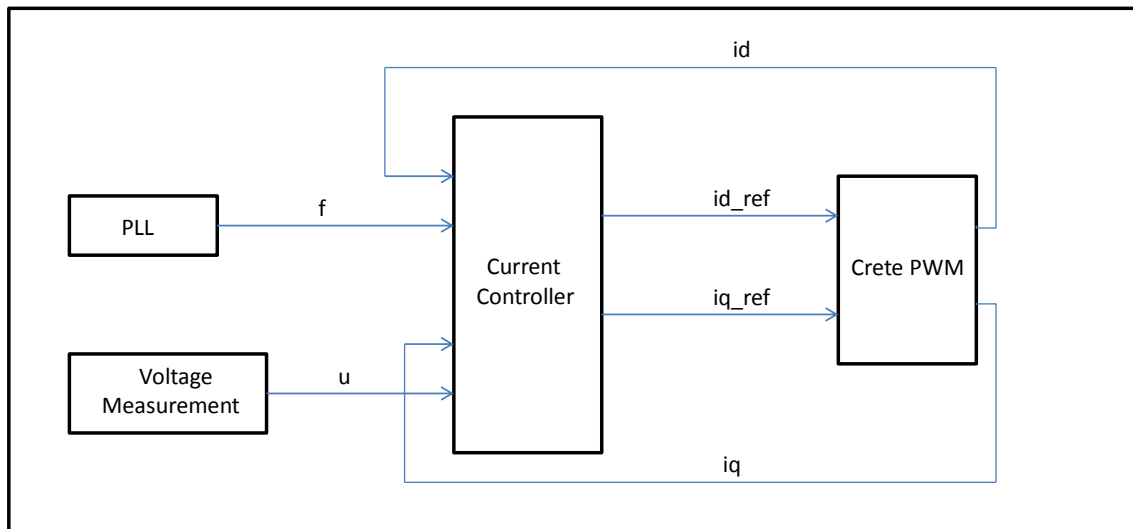
5.2 Ο Έλεγχος του HVDC συνδέσμου

Στον έλεγχο ενός HVDC συστήματος αυτό που θέλουμε ουσιαστικά είναι να ελέγξουμε την μεταφορά της ενέργειας. Στόχος δηλαδή είναι ο ακριβής έλεγχος μετάδοσης ενεργού και άεργου ισχύος. Εναλλακτικά, στόχος είναι η στήριξη ενός δικτύου, οπότε και δίνεται βάρος στην παροχή όσης ισχύος χρειάζεται ώστε να παραμείνει το σύστημα σε ισορροπία. Ο έλεγχος, όμως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να προσφέρει βοηθητικές υπηρεσίες, όπως έλεγχος αέργου και τάσης, αντιστάθμιση απωλειών, προστασία συστήματος και πολλά άλλα.

Στη σταθερή κατάσταση, ο μετατροπέας που βρίσκεται στην πλευρά του Λαυρίου ελέγχει την ροή ενεργού ισχύος και το επίπεδο της DC τάσης (μέθοδος ελέγχου Vdc-Q), ενώ ο μετατροπέας στη Κορακιά ελέγχει την τάση στην AC πλευρά και τη γωνία της (μέθοδος ελέγχου Vac-phi), λειτουργεί δηλαδή σαν slack bus για το σύστημα της Κρήτης.

Για τα μεταβατικά, ακολουθήθηκε μια ξεκάθαρη στρατηγική για αν επιτευχθεί η επιθυμητή απόκριση από το σύστημα, ενώ παράλληλα έγινε προσπάθεια να αποφευχθούν πιο σύνθετες δυνατότητες ελέγχου ώστε να μην υπάρχουν επιπλοκές κατά το τρέξιμο του προγράμματος. Τελικά αποφασίστηκε να γίνει χρήση του παρακάτω ελέγχου:

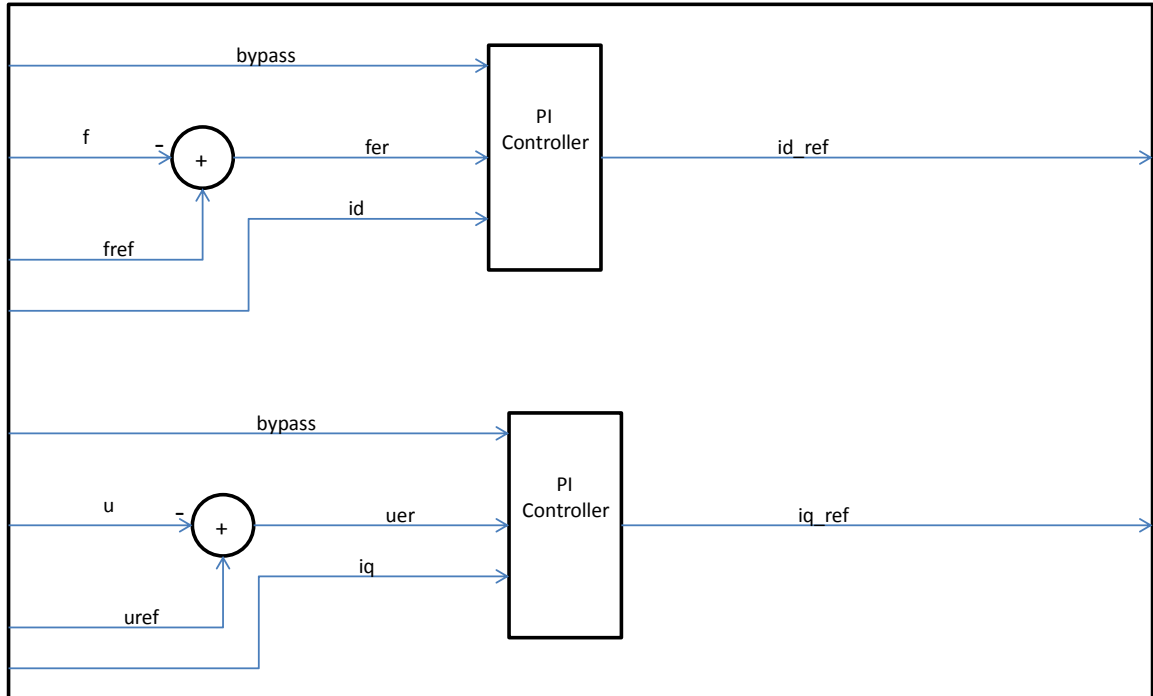
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 25: Διάγραμμα ελέγχου μετατροπέα Κρήτης

Στο ζυγό της Κορακιάς μετράμε τάση και συχνότητα, μεγέθη τα οποία τροφοδοτούν έναν current controller (η λειτουργία του οποίου εξηγείται αμέσως παρακάτω), ο οποίος τα συνδυάζει με feedback των ρευμάτων i_d και i_q του converter, για να παράγει τα ρεύματα αναφοράς i_{d_ref} και i_{q_ref} που πρέπει να τροφοδοτηθούν στον μετατροπέα. Οι τιμές αυτών των σημάτων ελέγχου εξαρτώνται άμεσα από την απόκλιση της συχνότητας και της τάσης από τις τιμές αναφοράς τους και ουσιαστικά θέτουν τον μετατροπέα σε λειτουργία τέτοια ώστε να εξαλείψει το σφάλμα στα μετρούμενα μεγέθη.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**



Εικόνα 26: Διάγραμμα ελεγκτή ρευμάτων

Ο ελεγκτής ρευμάτων είναι ο ακρογωνιαίος λίθος στο παραπάνω διάγραμμα ελέγχου. Είναι το κομμάτι εκείνο που δίνει τα σήματα που καθορίζουν τη λειτουργία του μετατροπέα, με βάση τα μετρούμενα μεγέθη f και u .

Αρχικά, στο εσωτερικό του μπαίνουν οι μετρήσεις της τάσης (μέτρο) και της συχνότητας. Αυτά αφαιρούνται από τα σήματα αναφοράς τους, δηλαδή 1 ανά μονάδα. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως τα σήματα αναφοράς δεν έχουν δοθεί στον ελεγκτή από το εξωτερικό σχήμα ελέγχου, αλλά από εντολές αρχικοποίησης, με τις οποίες δίνουμε όποια τιμή θέλουμε στα σήματα αυτά που ορίσαμε εμείς.

Η διαφορά των σημάτων αυτών είναι τα σήματα σφάλματος, που εισάγονται το καθένα σε έναν απλό PI ελεγκτή. Αυτός, ως γνωστόν έχει την εξής συνάρτηση μεταφοράς:

$$H(s) = K * \left(1 + \frac{1}{sT}\right)$$

όπου K το αναλογικό κέρδος και K/T το κέρδος ολοκλήρωσης.

Μέσω αυτής της συνάρτησης παράγονται τα σήματα αναφοράς του μετατροπέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Τα σήματα id , iq που μπαίνουν στους ΠΙ χρησιμοποιούνται ως σημεία εκκίνησης των σημάτων εξόδου τους στην αρχή της προσομοίωσης. Η έξοδος, για παράδειγμα του πρώτου ΠΙ στο ξεκίνημα θα είναι id , ενώ για οποιαδήποτε επόμενη χρονική στιγμή t θα ισχύει:

$$id_{ref}(t) = id + K * uer(t) + \frac{K}{T} * \int_0^t uer(\tau) d\tau$$

που είναι και το ζητούμενο.

Το σήμα $bypass$ δεν έχει καμία σημασία, απλώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν έχει τιμή 1 για την πλήρη παράκαμψη του ΠΙ. Δεν επηρεάζει καθόλου τη λειτουργία του κυκλώματος αφού έχει μόνιμα την τιμή 0.

Προτού κατασκευαστεί το συγκεκριμένο σχήμα δοκιμάστηκαν διάφορες παραλλαγές του, όλες όμως βασιζόμενες από $feedback$ της τάσης στο ζυγό της Κορακιάς και της συχνότητας.

Μια από τις πιο αξιολογήσιμες περιλάμβανε τη λήψη των ρευμάτων id , iq απ' ευθείας απ το κύκλωμα. Επειδή όμως δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μέτρηση στο πεδίο dq , λαμβάνεται η μέτρηση των ρευμάτων στο σύστημα δύο αξόνων $\alpha\beta$ και από τις συνιστώσες i_r , i_i με εφαρμογή του μετασχηματισμού Clarke, που δεν είναι τίποτε άλλο από έναν απλό πίνακα στροφής, παίρνουμε τα id , iq . Στη συνέχεια ακολουθούσε σχεδόν όμοια διαδικασία με την τελική και στο τέλος αντί να τροφοδοτείται ο μετατροπέας με τα id_{ref} , iq_{ref} τα σήματα περνούσαν από ένα δεύτερο ζευγάρι ΠΙ ελεγκτών οι οποίοι από τη διαφορά των $id-id_{ref}$ και $iq-iq_{ref}$ εξήγαγαν τις δύο συνιστώσες P_{md} , P_{mq} του συντελεστή διαμόρφωσης που δίνεται στον μετατροπέα για να ρυθμίσει τη διαμόρφωση εύρους των παλμών της τάσης εξόδου του.

Εν τέλει η παραπάνω διαδικασία κρίθηκε πολύπλοκη χωρίς ιδιαίτερο λόγο, αφού για τη συγκεκριμένη εφαρμογή προκύπτουν τα ίδια αποτελέσματα αν πάρουμε από τον μετατροπέα τα id , iq και δώσουμε σε αυτόν μόνο τα ρεύματα αναφοράς, ενεργοποιώντας παράλληλα τους εσωτερικούς ελεγκτές που μετατρέπουν τα ρεύματα αυτά στο συντελεστή διαμόρφωσης.

5.3 Η μοντελοποίηση του ΣΗΕ της Κρήτης

Στην ενότητα αυτή θα γίνει παρουσίαση των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης. Το ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης έχει αρκετούς και σημαντικούς σε μέγεθος σταθμούς παραγωγής, κάτι που καθιστά το συντονισμό του δικτύου και την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας του κάπως πιο πολύπλοκη από ένα τυπικό νησί του Αιγαίου. Στον έλεγχο του συστήματος αυτού πρέπει να ληφθούν υπ' όψη και οι ΑΠΕ (κυρίως τα φωτοβολταϊκά και Α/Π) που παίζουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή. Εδώ θα παρουσιαστεί ο έλεγχος των γεννητριών στους σταθμούς παραγωγής και των ανεμογεννητριών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

5.3.1 Τα σενάρια

Μελετάμε τη λειτουργία του δικτύου με και χωρίς τη διασύνδεση, στα εξής σενάρια:

Σενάριο 1: Εδώ μελετάται η λειτουργία του συστήματος σε συνθήκες αιχμής. Οι περισσότερες μονάδες λειτουργούν κοντά στην ονομαστική τους ισχύ, αφού υπάρχει μεγάλη ζήτηση. Επειδή η αιχμή παρουσιάζεται τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε κι έχουμε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή ένταση ανέμων, με αποτέλεσμα η παραγωγή των αιολικών να είναι ασήμαντη.

Σενάριο 2: Εδώ έχουμε μικρή ζήτηση, κάτι που οδηγεί σε μη λειτουργία κάποιων από τους σταθμούς παραγωγής. Λόγω της μικρής μεταφοράς ισχύος στο δίκτυο, οι γραμμές είναι αφόρτιστες, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν χωρητική συμπεριφορά. Για το λόγο αυτό οι πυκνωτές αντιστάθμισης που έχουν τοποθετηθεί σε διάφορους ζυγούς αποσυνδέονται, εκτός αν παρατηρηθεί κάποια ιδιαίτερα χαμηλή τάση κατά τις προσομοιώσεις λόγω έλλειψης αέργου, οπότε κάποιοι επανασυνδέονται. Η διείσδυση των αιολικών είναι μεγαλύτερη από το σενάριο 1 .

Σενάριο 3: Εδώ έχουμε σενάριο ελαχίστου φορτίου, με αποτέλεσμα ακόμη περισσότερες γεννήτριες να μη λειτουργούν. Οι πυκνωτές παραμένουν αποσυνδεδεμένοι όπως και στο σενάριο 2 εκτός πάλι αν χρειαστεί σε κάποιο μεμονωμένο σημείο στήριξη της τάσης. Η αιολική διείσδυση εδώ είναι σημαντικά μεγαλύτερη.

Συμπληρωματικά στα τρία παραπάνω σενάρια, θα μελετήσουμε και τρεις παραλλαγές τους (1β,2β και 3β αντίστοιχα), στις οποίες τα φορτία παραμένουν ίδια, η παραγωγή όμως από τους συμβατικούς σταθμούς είναι σημαντικά μειωμένη και μεγάλο κομμάτι των φορτίων καλύπτεται από τη διασύνδεση ή/και τα αιολικά πάρκα. Αυτό γίνεται για να διαπιστωθεί κατά πόσο μπορεί να μειωθεί η παραγωγή των σταθμών στην Κρήτη ενώ παράλληλα οι μεταβλητές του συστήματος διατηρούνται σε αποδεκτές τιμές,

Προφανώς τα σενάρια 1β, 2β, 3β έχει νόημα να μελετηθούν μόνο με την Κρήτη σε κατάσταση σύνδεσης με το Λάυριο. Ακολουθούν τα στοιχεία της παραγωγής και της ζήτησης των παραπάνω σεναρίων:

Πίνακας 4: Συγκεντρωτικός πίνακας τριών διαφορετικών σεναρίων παραγωγής και ζήτησης της Κρήτης για το έτος 2010

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Παραγωγή			
Ατμοστρόβιλοι ΛΙΝ	90,5	80	39
Diesel ΛΙΝ	40	24	0
Αεριοστρόβιλοι ΛΙΝ	70	0	0
Συνδυασμένου	101,2	50	35

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

Κύκλου ΧΑΝ			
Αεριοστρόβιλοι ΧΑΝ	126,8	0	0
Ατμοστρόβιλοι ΑΘΕΡ	86	51,5	51,5
Diesel ΑΘΕΡ	96	25	0
ΑΠΕ	8	20	60
Σύνολο	618,5	250,5	185,5
Φορτία			
Αγ. Νικόλαος	42,4	15,4	11,0
Αγιά Χανίων	27,1	21	15,3
Ηράκλειο Ι	37,8	18,6	14,2
Ηράκλειο ΙΙ	74,3	35,2	28,6
Ηράκλειο ΙΙΙ	39,1	20,0	16,0
Ιεράπετρα	32,3	14,0	10,7
Καστέλι	25,1	9,0	7,1
Πρ. Λινοπεράματα	13,4	4,7	3,3
Μοίρες	34,3	13,5	10,2
Πραιτώρια	22,0	7,7	5,1
Ρέθυμνο	74,8	26,9	21,3
Σητεία	18,8	11,6	8,6
Σταλίδα	63,2	10,7	9,5
Χανιά	91,8	33,1	29,4
Βρύσες	11,1	3,5	3,1
Σύνολο	607,5	244,9	193,4

Παρατίθενται και οι διαφοροποιημένες παραγωγές για τα εναλλακτικά σενάρια:

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

Πίνακας 5: Κατανομή παραγωγής για τα εναλλακτικά σενάρια

	Σενάριο 1β	Σενάριο 2β	Σενάριο 3β
Παραγωγή			
Ατμοστρόβιλοι ΛΙΝ	90,5	80	39
Diesel ΛΙΝ		24	0
Αεριοστρόβιλοι ΛΙΝ	0	0	0
Συνδυασμένου Κύκλου ΧΑΝ	50	50	35
Αεριοστρόβιλοι ΧΑΝ	0	0	0
Ατμοστρόβιλοι ΑΘΕΡ	86	51,5	51,5
Diesel ΑΘΕΡ	0	25	0
ΑΠΕ	0	250	250
Σύνολο	618,5	250,5	185,5

5.3.2 Το σύστημα μεταφοράς της Κρήτης

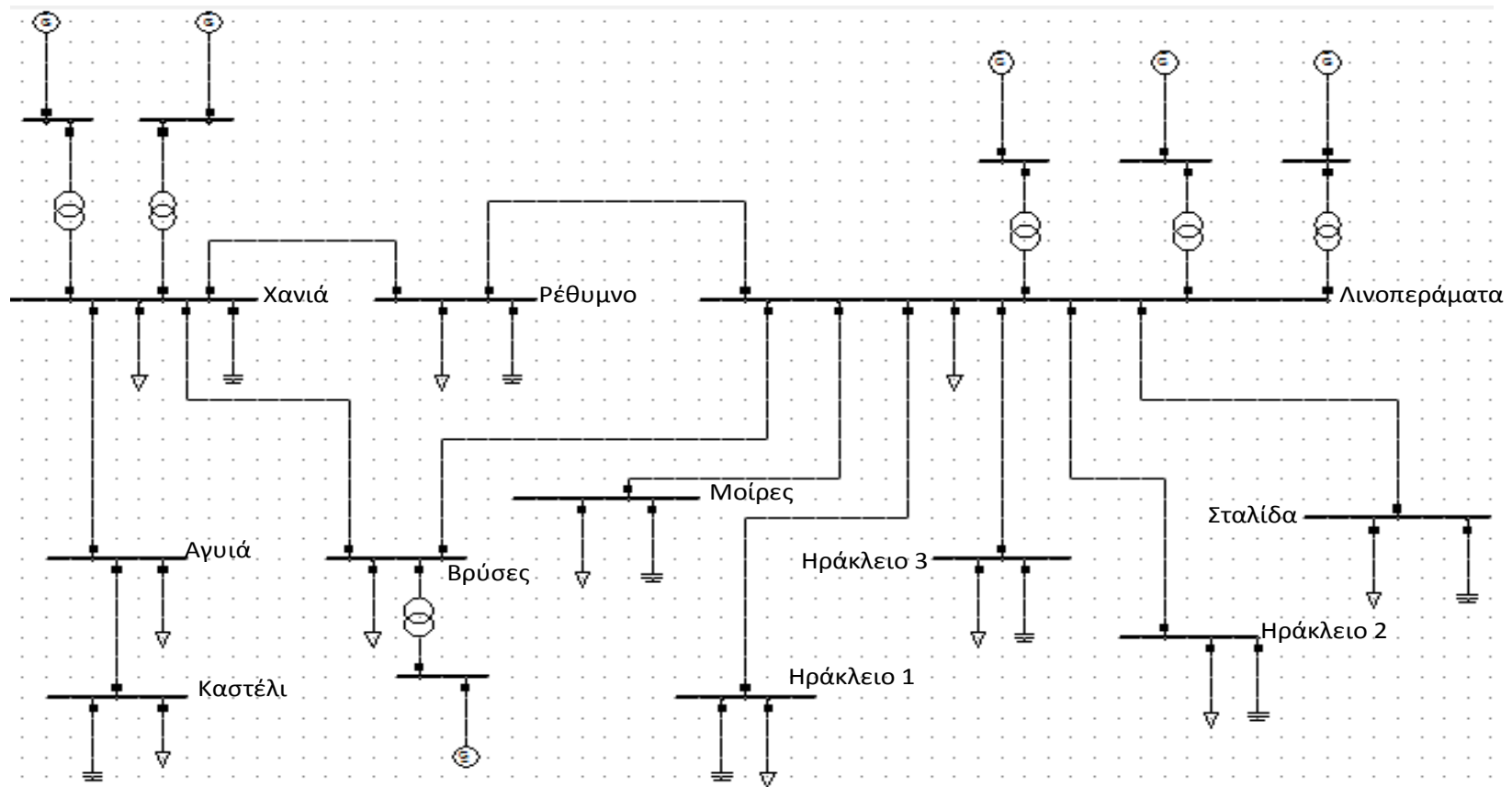
Επιλέγουμε τη μονογραμμική αναπαράσταση του δικτύου στο Powerfactory για απλότητα, αφού η πολυγραμμική αναπαράσταση θα είναι πολύ πιο δυσδιάκριτη. Επειδή θέλουμε να προσομοιώσουμε την Κρήτη στα πλαίσια της διασύνδεσης και όχι να αναλύσουμε σε βάθος το δίκτυό της, απεικονίζεται κυρίως το σύστημα μεταφοράς του νησιού στα 150 kV. Μόνο στα σημεία έγχυσης αιολικής ισχύος έχουν τοποθετηθεί ζυγοί μέσης τάσης στα 15 kV. Συνολικά έχουν τοποθετηθεί 30 ζυγοί και 22 γραμμές.

Για να μπορέσουν να παρασταθούν όλοι αυτοί οι ζυγοί και οι γραμμές στο Powerfactory με ευπαρουσίαστο και ευδιάκριτο τρόπο, κρίθηκε αναγκαίο να χωριστεί το δίκτυο σε δύο σελίδες. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα να γίνει αυτό για μεγάλα δίκτυα, επιτρέποντας να υπάρχει πάνω από μια φορά η γραφική αναπαράσταση ενός στοιχείου. Αυτό σημαίνει πως μπορούμε να έχουμε το ίδιο στοιχείο σε διαφορετικές σελίδες και σε κάθε μια από αυτές να συνδέεται με διαφορετικά στοιχεία. Έτσι χωρίσαμε το αρχικό δίκτυο στους ζυγούς Ηράκλειο 1, Ηράκλειο 2, Ηράκλειο 3, Σταλίδα και Μοίρες. Οι ζυγοί αυτοί θα βρίσκονται και στις δύο σελίδες, αναπαριστώντας όμως το ίδιο στοιχείο στη βάση δεδομένων του προγράμματος. Το Powerfactory αντιλαμβάνεται τώρα και τις δύο σελίδες ως ένα ενιαίο κύκλωμα.

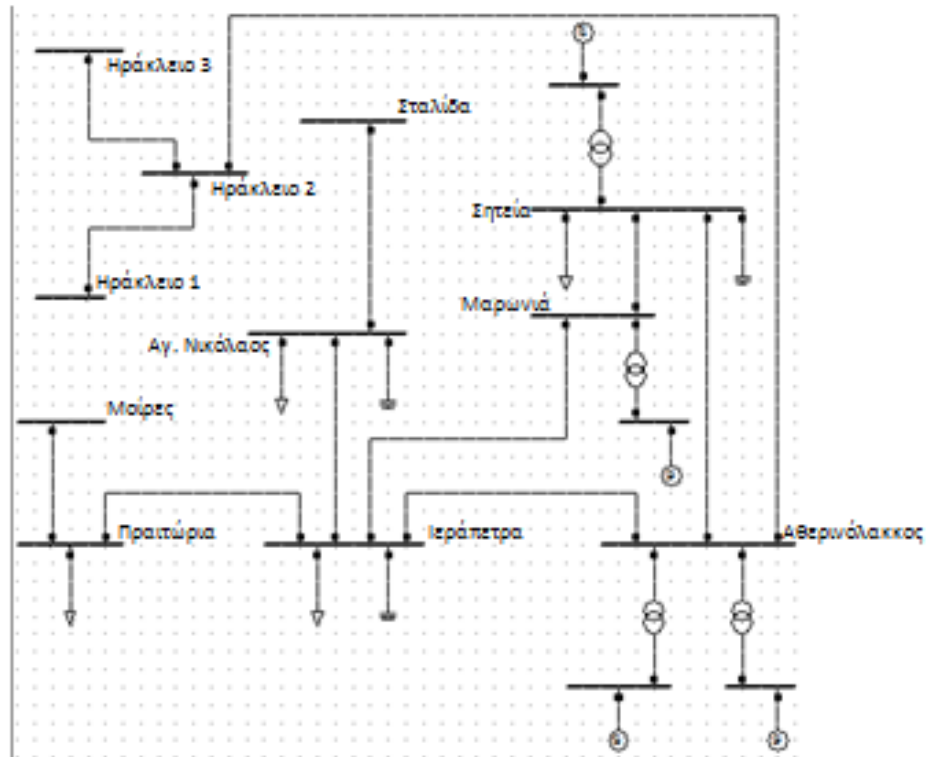
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Ακολουθούν δύο σχήματα όπου φαίνεται το ΣΗΕ της Κρήτης.

Κρήτη (1)



Κρήτη (2)



5.3.3 Τα φορτία

Τα φορτία που τοποθετήθηκαν στο δίκτυο είναι όλα τους συμμετρικά. Στο παράθυρο καθενός μπορεί να επιλεγθεί, ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία, ο συνδυασμός των παραμέτρων με τον οποίο θέλει ο χρήστης να ορίσει το φορτίο. Οι δυνατοί συνδυασμοί είναι: P-Q, P-cos(phi), I-cos(phi), S-cos(phi), Q-cos(phi), I-P, S-P και S-Q.

Τα φορτία παριστάνονται από μια μη γραμμική εξίσωση που είναι συνάρτηση της τάσης, όπως φαίνεται και από τις παρακάτω σχέσεις.

$$P = P_0 * \left(\frac{V}{V_0}\right)^{k_{pu}}$$

$$Q = Q_0 * \left(\frac{V}{V_0}\right)^{k_{qu}}$$

Καθορίζοντας τις τιμές k_{pu} και k_{qu} αντίστοιχα (για $k_{pu}/k_{qu} \geq 0$), μπορεί να μοντελοποιηθεί η συμπεριφορά των φορτίων. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις ενδεικτικές τιμές των παραμέτρων για να επιτευχθεί συμπεριφορά σταθερής ισχύος, σταθερού ρεύματος και σταθερής σύνθετης αντίστασης.

Πίνακας 6: Επιλογή της τιμής του λόγου k_{pu}/k_{qu} για διαφορετική συμπεριφορά μοντέλου φορτίου

Ratio	Value	Constant
	0	power
k_{pu}/k_{qu}	1	current
	2	Impedance

Στο δίκτυο που μοντελοποιούμε θέλουμε συμπεριφορά σταθερής ισχύος, επομένως επιλέγουμε για όλα τα φορτία να ισχύει $k_{pu}/k_{qu}=0$. Οι πίνακες με τα φορτία που τοποθετήθηκαν σε καθένα από τα τρία διαφορετικά σενάρια βρίσκονται στην παράγραφο που εξηγεί τα σενάρια.

Σημείωση: Χρησιμοποιούμε δεδομένα για τα φορτία του έτους 2010.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

5.3.4 Οι Σταθμοί παραγωγής

Ακολουθεί ο πίνακας με όλες τις μονάδες παραγωγής του νησιού (δεδομένα 2010).

Πίνακας 7: Δεδομένα σταθμών παραγωγής Κρήτης εν έτει 2010

Μονάδα Παραγωγής	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Steam 1 /ΛΙΝ	<i>ΣΕ ΨΥΧΡΗ ΕΦΕΛΡΕΙΑ</i>
Steam 2 /ΛΙΝ	15,0
Steam 3 /ΛΙΝ	15,0
Steam 4/ΛΙΝ	25,0
Steam 5 /ΛΙΝ	26,5
Steam 6 /ΛΙΝ	26,5
Diesel 1 /ΛΙΝ	12,3
Diesel 2 /ΛΙΝ	12,3
Diesel 3/ΛΙΝ	12,3
Diesel 4 /ΛΙΝ	12,3
Gas 1 /ΛΙΝ	<i>ΣΕ ΨΥΧΡΗ ΕΦΕΛΡΕΙΑ</i>
Gas 2 /ΛΙΝ	16,3
Gas 3 /ΛΙΝ	43,3
Gas 4 /ΛΙΝ	14,7
Gas 5 /ΛΙΝ	33,4
Gas CC 6 / XAN	45,5
Gas CC 7 / XAN	45,5
Steam CC 1 / XAN	44,4
Gas 1 / XAN	16,2
Gas 4 / XAN	<i>ΣΕ ΨΥΧΡΗ ΕΦΕΛΡΕΙΑ</i>
Gas 5 / XAN	33,8
Gas 11 / XAN	59,4
Gas 12 / XAN	59,4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Gas 13 / XAN	33,4
Steam 1 / ΑΘΕΡ	50,0
Steam 2 / ΑΘΕΡ	50,0
Diesel 1 / ΑΘΕΡ	51,3
Diesel 2 / ΑΘΕΡ	51,3

Όλοι οι σταθμοί παράγουν στα 11 kV, και στη συνέχεια συνδέονται μέσω Μ/Σ ανύψωσης τάσης στο δίκτυο μεταφοράς των 150 kV. Επίσης όλοι λειτουργούν με ΣΙ 0,8.

5.3.5 Καθορισμός αποδεκτών ορίων συχνότητας και τάσης

Για να πραγματοποιήσουμε τα σενάρια και να κρίνουμε αν τα αποτελέσματα είναι επιτυχή ή όχι, πρέπει να έχουμε κάποιους κανόνες για το ποιές τιμές συχνότητας και τάσης είναι αποδεκτές. Για το λόγο αυτό ακολουθούμε τον κώδικα διαχείρισης μη διασυνδεδεμένων νησιών που εξέδωσε η ΔΕΗ.

Για την συχνότητα, ως προς τα αποδεκτά όρια διακύμανσής της εφαρμόζεται καταρχήν το Πρότυπο EN 50160, σύμφωνα με το οποίο η συχνότητα πρέπει να είναι μεταξύ 49 και 51 Hz για το 95% του χρόνου μίας εβδομάδας και μεταξύ 42,5 και 57,5 Hz για το 100% του χρόνου, αναφορικά με τη μέση τιμή της θεμελιώδους συχνότητας που μετριέται σε διάστημα 10sec.

Για την τάση μας αφορούν όσα σχετίζονται με την τάση μεταφοράς 150 kV. Για την υψηλή τάση λοιπόν αναφέρεται πως τα όρια είναι 142,5 kV έως 162 kV (-5%) (+8%), υπό κανονικές συνθήκες και 135 kV έως 170 kV (-10%) (+13%), υπό έκτακτες. Ως κανονικές ορίζονται οι συνθήκες φυσιολογικής λειτουργίας, ενώ ως έκτακτες εκείνες που δεν είναι συνήθεις, δηλαδή συνθήκες με την απώλεια ενός σταθμού, με κάποιο ζυγό βραχυκυκλωμένο και άλλες.

5.4 Ο έλεγχος του ΣΗΕ της Κρήτης

Προτού παρουσιαστεί η γενική ιδέα του ελέγχου, κρίνεται σημαντικό να συζητηθούν κάποια θεωρητικά στοιχεία για την ευστάθεια γενικά και στη συνέχεια για την ταξινόμηση και τη λειτουργία των ελεγκτών σε μια σύγχρονη γεννήτρια.

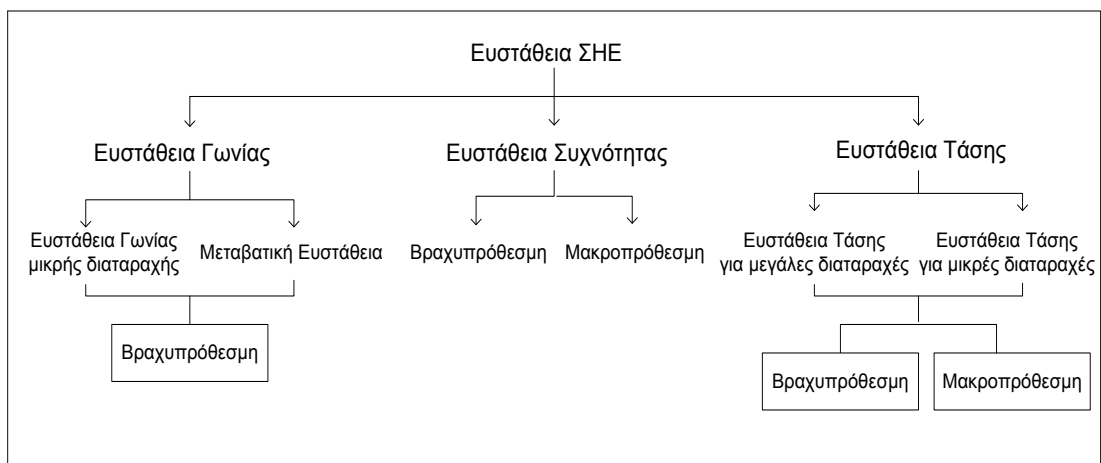
5.4.1 Ευστάθεια

Η ευστάθεια ενός συστήματος είναι έννοια η οποία συχνά συγχέεται με την ασφάλεια. Η ασφάλεια όμως είναι στιγμιαία συνθήκη που εξαρτάται από την ευρωστία του συστήματος, ενώ η ευστάθεια αφορά στη συνεχή, παράλληλη και συγχρονισμένη λειτουργία όλων των σύγχρονων γεννητριών του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Ανάλογα με την τοπολογία του δικτύου, τις αρχικές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος και τον τύπο της διαταραχής που πραγματοποιείται, μπορεί να οδηγηθεί το σύστημα σε διάφορους τύπους αστάθειας. Η αστάθεια ενός συστήματος ισχύος μπορεί να ταξινομηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- Τη φύση της προκύπτουσας κατάστασης της αστάθειας, όπως αυτή προκύπτει από την κύρια μεταβλητή του συστήματος στην οποία παρατηρείται αστάθεια.
- Το μέγεθος της θεωρούμενης διαταραχής, αφού επηρεάζει τη μέθοδο υπολογισμού και πρόβλεψης της ευστάθειας.
- Τις συσκευές, τις διαδικασίες καθώς και το χρονικό διάστημα που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να εκτιμηθεί η ευστάθεια.



Εικόνα 27: Ταξινόμηση ευστάθειας συστήματος

Όπως φαίνεται και στο σχήμα η ευστάθεια ενός συστήματος μπορεί να ταξινομηθεί σαν ευστάθεια τάσης, συχνότητας και γωνία δρομέα:

- 1) Η ευστάθεια τάσης αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να διατηρεί την τάση σε όλους τους ζυγούς σε αποδεκτά επίπεδα κάτω από συνθήκες κανονικής λειτουργίας αλλά και σε περίπτωση διαταραχής. η κύρια αιτία για την αστάθεια τάσης είναι η μη ικανότητα του συστήματος να διατηρήσει το ισοζύγιο αέργου ισχύος. Η ευστάθεια τάσης μεγάλης διαταραχής αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να διατηρεί σταθερές τις τάσεις μετά από μεγάλες διαταραχές, ενώ η ευστάθεια τάσης μικρής διαταραχής αναφέρεται στην ικανότητα ελέγχου μικρών διακυμάνσεων, λόγω χάρη σαν αυτές που οφείλονται σε αλλαγές στο φορτίο του συστήματος.
- 2) Η ευστάθεια συχνότητας αντίστοιχα είναι η ικανότητα ενός συστήματος να συντηρεί τη συχνότητα σε ένα καθορισμένο εύρος γύρω από την ονομαστική της τιμή (50 Hz), μετά από διαταραχή του συστήματος που μπορεί να οδηγήσει στην υποδιαίρεση του συστήματος σε μικρότερα υποσυστήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Αυτό εξαρτάται από την ικανότητα να αποκατασταθεί το ισοζύγιο ενεργού ισχύος ανάμεσα σε παραγωγή και φορτίο με ελάχιστη απώλεια φορτίου.

- 3) Η ευστάθεια γωνίας δρομέα αναφέρεται στην ικανότητα των σύγχρονων μηχανών ενός διασυνδεδεμένου συστήματος να παραμένει σε συγχρονισμό σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας ακόμα και μετά από μια διαταραχή. Αυτό εξαρτάται από την ικανότητα της κάθε μηχανής να διατηρήσει ή να αποκαταστήσει την ισορροπία μεταξύ της ηλεκτρομαγνητικής και μηχανικής ροπής στο εσωτερικό της. Η αστάθεια που προκύπτει εκδηλώνεται στη μορφή αυξανόμενων ταλαντώσεων στη γωνία που οδηγεί στην απώλεια συγχρονισμού της μηχανής με το σύστημα. Η ευστάθεια αυτή διαχωρίζεται σε μικρού σήματος και μεταβατική. Η μικρού σήματος ευστάθεια αναφέρεται στην ικανότητα διατήρησης του συγχρονισμού σε περίπτωση μικρής διαταραχής, ενώ η μεταβατική ευστάθεια έχει να κάνει με την ικανότητα διατήρησης συγχρονισμού όταν πρόκειται για σοβαρή μεταβατική διαταραχή.

Κριτήρια Δυναμικής Ασφάλειας

Τα κριτήρια περιλαμβάνουν:

- Αδρανειακά κριτήρια ευστάθειας, που αφορούν την εξέλιξη σχετικών γωνιών των μηχανών και συχνοτήτων.
- Βυθίσεις ή αυξήσεις τάσης πέρα από ένα προσδιορισμένο επίπεδο για περισσότερο από μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Αυτό περιλαμβάνει διάφορα ζεύγη τιμών κατωφλίου-διάρκειας για βυθίσεις και αυξήσεις της τάσης καθώς και μέγιστες και ελάχιστες στιγμιαίες τιμές.
- Relay Margin Criteria, που ορίζονται για τις καταστάσεις πριν και μετά τη διαταραχή. Αν το όριο που έχει οριστεί στο relay παραβιαστεί για περισσότερο από έναν καθορισμένο χρόνο, τότε η κατάσταση θεωρείται ανασφαλής.
- Κριτήρια Ελάχιστης Απόσβεσης. Για μια καθορισμένη λίστα διαταραχών οι ταλαντώσεις για την επαναφορά στην σωστή τιμή πρέπει να αποσβένουν με συγκεκριμένο ρυθμό (αν εμφανίζονται ταλαντώσεις).

5.4.2 Ρυθμιστές στροφών και ρυθμιστές τάσης

Οι έννοιες του ρυθμιστή στροφών και του ρυθμιστή τάσης είναι πολύ σημαντικές για την ευστάθεια και τη σωστή λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τη μοντελοποίηση του δικτύου και την εισαγωγή γεννητριών των σταθμών και ανεμογεννητριών, είναι απαραίτητη η προσθήκη των κατάλληλων ρυθμιστών στροφών και τάσης. Για το λόγο αυτό θα περιγραφούν σύντομα η γενική λειτουργία των ρυθμιστών παρακάτω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Ρυθμιστές Στροφών

Ο ρυθμιστής στροφών ή ρυθμιστής συχνότητας προσαρμόζει συνεχώς την παραγόμενη ισχύ της γεννήτριας, ώστε η συχνότητα της μηχανής να διατηρείται σταθερή στα 50 Hz.

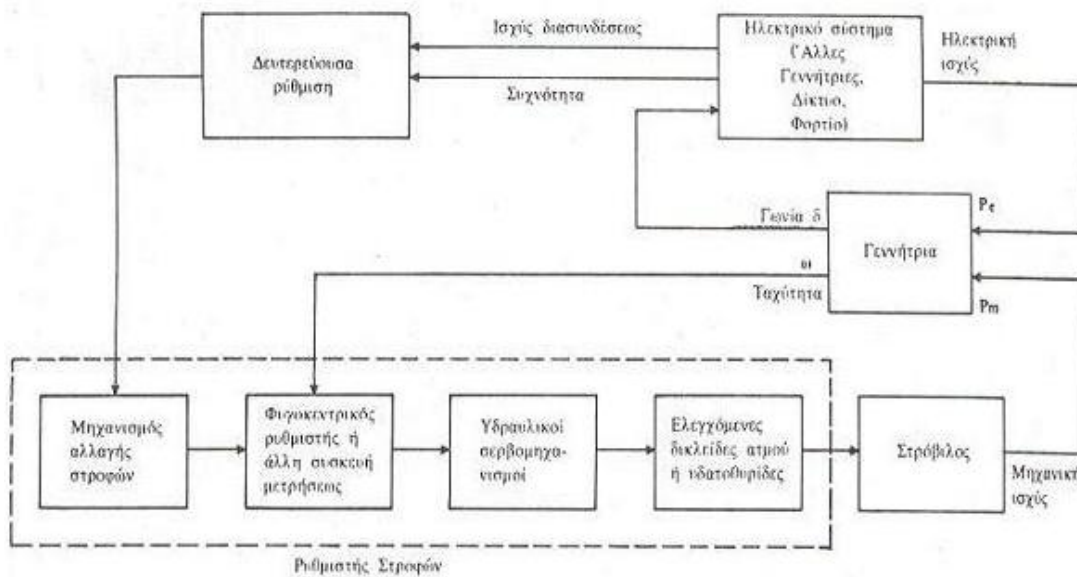
Αν δεν υπήρχε ο ρυθμιστής στροφών, σε μια πιθανή αύξηση φορτίου η γεννήτρια θα συνέχιζε να παράγει ισχύ υπό την ίδια ροπή της κινητήριας μηχανής, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η γεννήτρια σύμφωνα με τη σχέση:

$$P = \omega * T$$

Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συχνότητας σε όλο το σύστημα.

Στην περίπτωση που μια γεννήτρια είναι συνδεδεμένη σε ένα μεγάλο σύστημα, η ταχύτητα περιστροφής της είναι δεσμευμένη από τη συχνότητα του συστήματος, η οποία είναι κοινή για όλο το δίκτυο. Για το λόγο αυτό ο ρυθμιστής στροφών ελέγχει την ενεργό ισχύ που παράγει η γεννήτρια.

Παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα στο οποίο περιγράφεται το μοντέλο ελέγχου για τη διατήρηση της συχνότητας στο σύστημα:



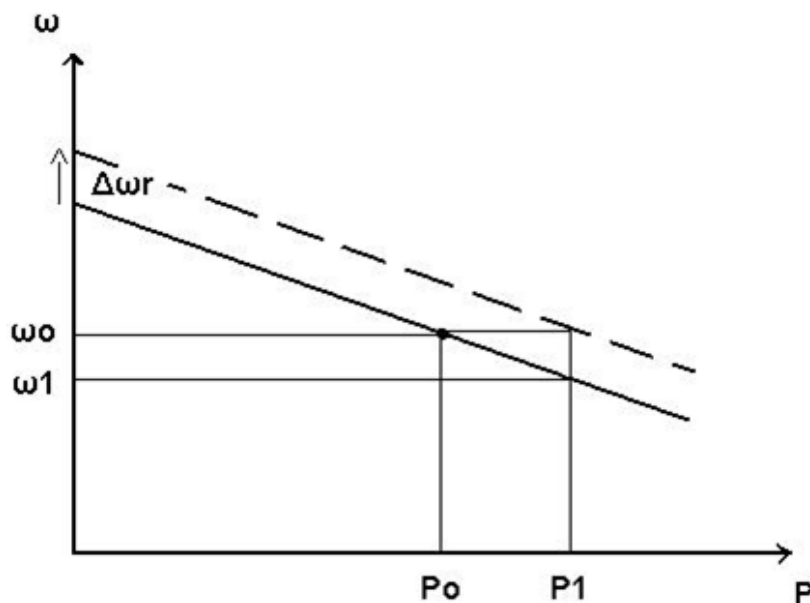
Εικόνα 28: Λειτουργικό Διάγραμμα Ρυθμιστή Στροφών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, είναι προφανές πως στη ρύθμιση στροφών έχουμε δύο ειδών ρυθμίσεις:

α) Την πρωτεύουσα ρύθμιση, που πραγματοποιείται άμεσα για οποιαδήποτε μεταβολή στην ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας από το φυγόκεντρο ρυθμιστή που πραγματοποιεί τη μέτρηση. Τέτοιες μεταβολές μπορεί να προκληθούν από προσθαφαιρέσεις φορτίου στο σύστημα ή από άλλα συμβάντα. Μόλις γίνει αντιληπτή η μεταβολή, στέλνεται σήμα για την κατάλληλη προσαρμογή της μηχανικής ισχύος που παράγεται από τον στρόβιλο.

β) Τη δευτερεύουσα ρύθμιση, η οποία λαμβάνει χώρα μετά την πρωτεύουσα. Εδώ γίνεται μέτρηση του σφάλματος συχνότητας ανάμεσα στη γεννήτρια και στο σύστημα και στέλνεται το αντίστοιχο σήμα στον μηχανισμό αλλαγής στροφών της γεννήτριας, ώστε να επανέλθει η γεννήτρια στην κανονική τιμή. Για να καταλάβουμε πως ακριβώς λειτουργούν οι δύο ρυθμίσεις, παρατίθεται η χαρακτηριστική φορτίου-συχνότητας μιας μονάδας:



Εικόνα 29: Χαρακτηριστική Φορτίου-Συχνότητας

Το αρχικό σημείο λειτουργίας της μονάδας είναι το (P_0, ω_0) , με συνδεδεμένο ονομαστικό φορτίο P_0 και λειτουργώντας στην ονομαστική συχνότητα ω_0 . Αν γίνει μια αύξηση του φορτίου, μετά την πρωτεύουσα ρύθμιση θα οδηγηθεί στο σημείο (P_1, ω_1) , με μείωση συχνότητας $\Delta\omega$.

Ο μόνος τρόπος για να μπορέσει να επανέλθει στην αρχική κατάσταση το σύστημα είναι με την εφαρμογή της δευτερεύουσας ρύθμισης. Με το μηχανισμό

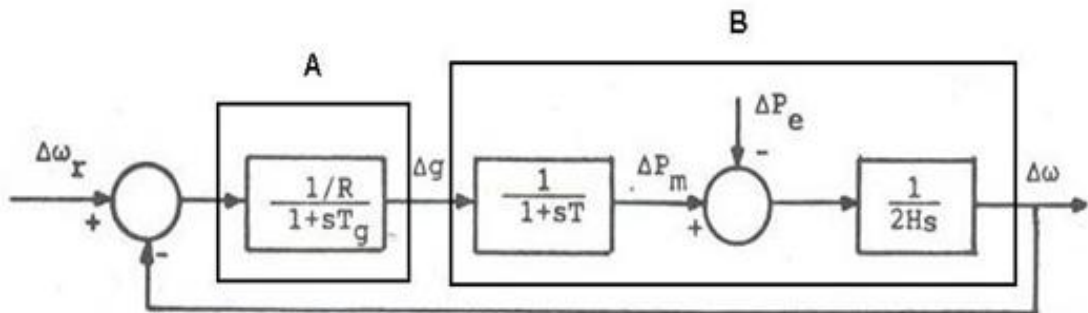
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

αλλαγής στροφών της μονάδας η χαρακτηριστική φορτίου-συχνότητας θα μεταφερθεί παράλληλα προς τα πάνω κατά $\Delta\omega_r$, με αποτέλεσμα να επανέλθει το σύστημα στις αρχικές συνθήκες λειτουργίας.

Η κλίση της χαρακτηριστικής ορίζει ένα νέο μέγεθος, τον στατισμό της μονάδας, που σχετίζεται με τις μεταβολές ισχύος και συχνότητας ως εξής:

$$R = - \frac{\Delta\omega}{\Delta P}$$

Ο ρυθμιστής είναι λοιπόν ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου, που έχει ως είσοδο την επιθυμητή μεταβολή $\Delta\omega_r$ για την επαναφορά του συστήματος στις αρχικές συνθήκες λειτουργίας, και έξοδο τη μεταβολή συχνότητας $\Delta\omega$ που συμβαίνει πραγματικά στο σύστημα. Το συνολικό σύστημα ελέγχου μπορεί να παρασταθεί με το εξής σχήμα:



Εικόνα 30: Βρόχος ελέγχου ρυθμιστή στροφών ατμοστρόβιλου

Όπως είναι προφανές από το σχήμα, στην είσοδο συγκρίνονται οι διαφορές των μεταβολών των συχνοτήτων $\Delta\omega_r$ και $\Delta\omega$, η διαφορά των οποίων δίνει σήμα σφάλματος που εξαναγκάζει τον ρυθμιστή στροφών να μεταβάλλει τον ατμό που εισέρχεται στο στρόβιλο της γεννήτριας κατά Δg . Η συνάρτηση μεταφοράς για τη μετατροπή του σφάλματος σε διόρθωση Δg είναι $\frac{\Delta g}{\Delta\omega_r - \Delta\omega} = \frac{1/R}{1+T_g*s}$, όπου T_g η χρονική σταθερά του ρυθμιστή στροφών του ατμοστρόβιλου με τιμές 0.2-1 s.

Στη συνέχεια, η μεταβολή του ατμού Δg μετατρέπεται σε μεταβολή της μηχανικής ισχύος στον άξονα της γεννήτριας ΔP_m με την παραπλήσια συνάρτηση μεταφοράς $\frac{1}{1+T*s}$ (T η χρονική σταθερά του σερβομηχανισμού). Η διαφορά ανάμεσα στη μηχανική και την ηλεκτρική ισχύ της γεννήτριας μετατρέπεται σε σήμα αλλαγής της συχνότητας $\Delta\omega$ και ως εκ τούτου επιταχύνει ή επιβραδύνει την γεννήτρια. Η μαθηματική συσχέτιση ανάμεσα στην ισχύ και τις στροφές είναι:

$$P_m - P_e = 2 * H * \frac{d(\Delta\omega)}{dt}$$

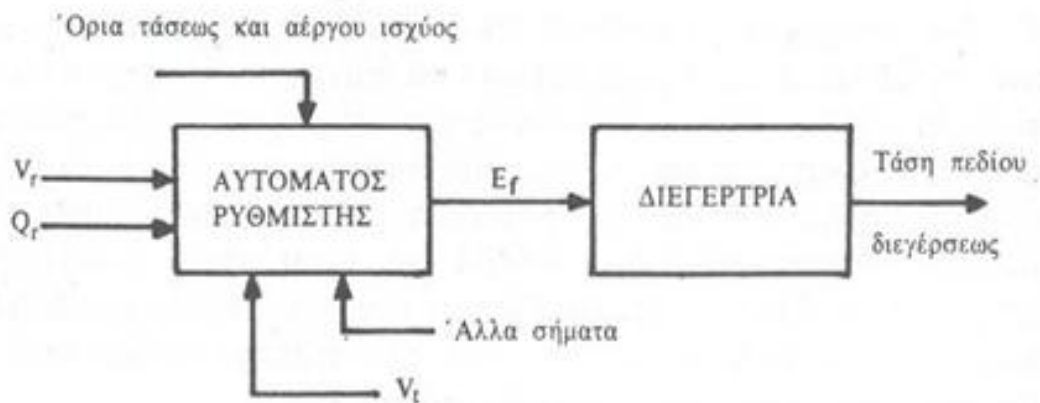
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

όπου H η χρονική σταθερά αδράνειας του στροβίλου.

Ρυθμιστές τάσης

Ένας ρυθμιστής τάσης μιας γεννήτριας έχει σκοπό τη διατήρηση της τάσης στους τερματικούς ζυγούς της σταθερή. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη μεταβολή της τάσης διέγερσης, μέσω του συστήματος διέγερσης της γεννήτριας. Η εντολή για τη ρύθμιση αυτή γίνεται από το ρυθμιστή τάσης, ο οποίος συγκρίνει το μέτρο της τάσης στα άκρα με την τάση αναφοράς και προσαρμόζει ανάλογα την παραγόμενη ΗΕΔ της γεννήτριας. Η ΗΕΔ (ηλεκτρεγερτική δύναμη) της γεννήτριας είναι η τάση στα άκρα του τυμπάνου εν κενώ και καθορίζει την άεργο ισχύ που παράγεται, συμβολίζεται με E_f και είναι ανάλογη προς την συνεχή τάση, η οποία τροφοδοτεί το τύλιγμα διέγερσης.

Πιο κάτω παρουσιάζεται το γενικό διάγραμμα ενός συστήματος διέγερσης που περιλαμβάνει τον αυτόματο ρυθμιστή τάσης και τη διεγέρτρια.



Εικόνα 31: Γενική Διάταξη Συστήματος Διεγέρσεως

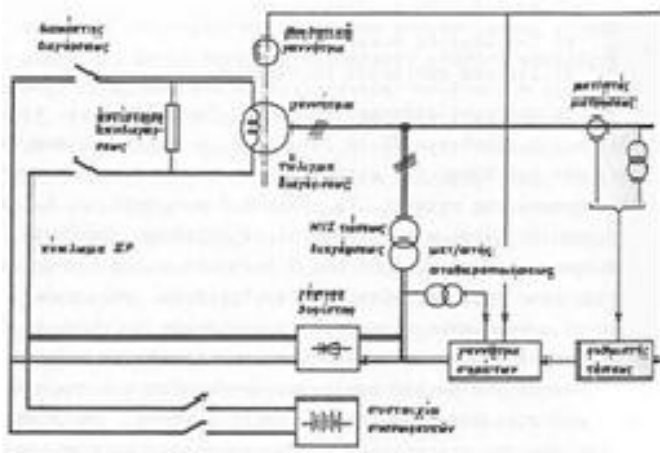
Ανάλογα με το είδος της διεγέρτριας, τα συστήματα διέγερσης χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

α) Στα στρεφόμενα συστήματα διέγερσης DC, που περιλαμβάνουν γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που λειτουργεί ως διεγέρτρια, κινείται από τον άξονα της γεννήτριας και τροφοδοτεί το τύλιγμα διέγερσης της μηχανής. Το τύλιγμα διέγερσης της διεγέρτριας τροφοδοτείται από ανορθωτή ή συσσωρευτή ή (τις περισσότερες φορές) από βοηθητική γεννήτρια διέγερσης. Η διέγερση της διεγέρτριας ρυθμίζεται από έναν ροοστάτη ή μέσω θυρίστρον, που παίρνει την είσοδό του από το ρυθμιστή τάσης, όπως φαίνεται και στο σχήμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

β) Στα στρεφόμενα συστήματα διέγερσης AC, τα οποία περιλαμβάνουν διεγέρτρια εναλλασσομένου ρεύματος και χρησιμοποιούν στατούς ή στρεφόμενους ανορθωτές για την ανόρθωση του ρεύματος και την τροφοδότηση του τυλίγματος διέγερσης. Εδώ με τη χρήση στρεφόμενων ανορθωτών δεν χρειάζονται ψήκτρες για να περνά το συνεχές ρεύμα προς τη διέγερση.

γ) Στα στατικά συστήματα διέγερσης, τα οποία δεν περιλαμβάνουν διεγέρτρια σε μορφή στρεφόμενης μηχανής. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η διάταξη ενός τέτοιου στατικού συστήματος διέγερσης.



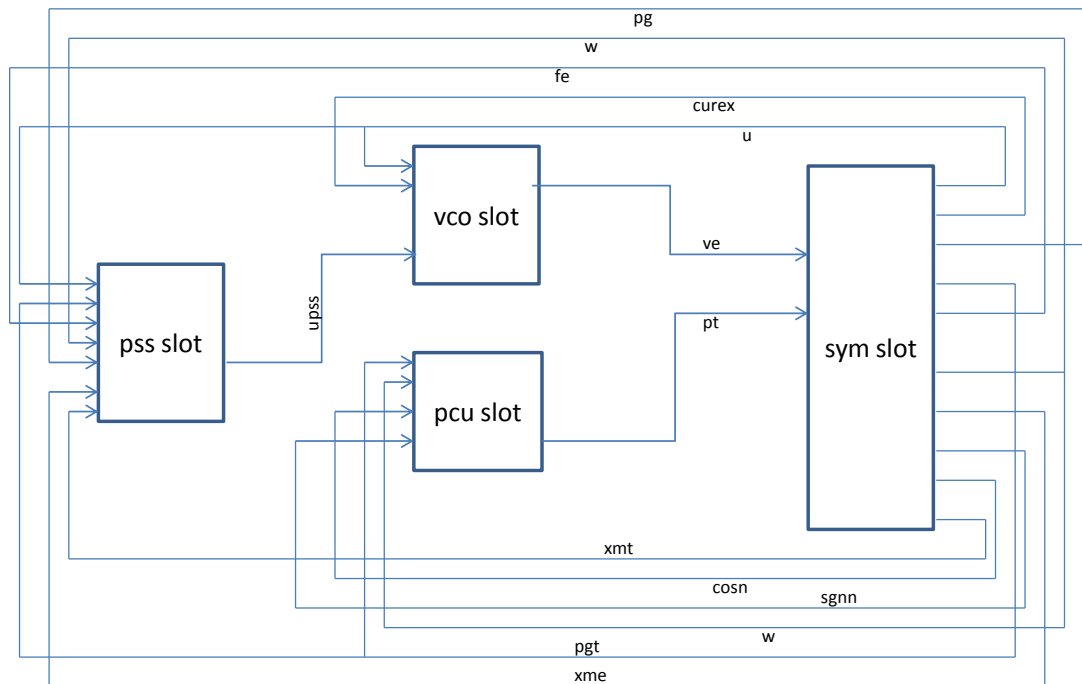
Εικόνα 32: Διάταξη αυτοδιεγερμένου στατικού συστήματος διέγερσης

Εδώ η τροφοδότηση του τυλίγματος διέγερσης παρέχεται από την έξοδο της γεννήτριας (εξ' ου και αυτοδιέγερση) μέσω μετασχηματιστή τάσης και γέφυρας θυρίστωρ. Ο ρυθμιστής τάσης του συστήματος συγκρίνει τη μετρούμενη τάση με την τάση αναφοράς και δίνει σήμα σφάλματος στον ανορθωτή, για να ρυθμιστεί ανάλογα το ρεύμα διέγερσης. Ο ρυθμιστής μπορεί να τροφοδοτείται είτε από μικρή βοηθητική γεννήτρια που λειτουργεί με μόνιμο μαγνήτη (και άρα δε χρειάζεται διέγερση) κινούμενη από τον άξονα της μηχανής, είτε από εξωτερική πηγή.

5.4.3 Το μοντέλο ελέγχου των σταθμών παραγωγής

Παρατίθεται το γενικό σχήμα ελέγχου που επιλέχθηκε για τον έλεγχο των σταθμών:

IEEE Frame No Droop



Εικόνα 33: Γενικό σχήμα ελέγχου σταθμού παραγωγής

Στην υλοποίησή μας δεν χρησιμοποιήθηκε η υποδοχή για τον σταθεροποιητή PSS.

Όλα τα σήματα που χρειάζονται οι ρυθμιστές στροφών και τάσης παρέχονται από την έξοδο του μοντέλου της μηχανής μέσω ανάδρασης και για το λόγο αυτό δεν παρακολουθούνται οι σημαντικές μεταβλητές μέσω μετρήσεων. Συγκεκριμένα:

- Ο ρυθμιστής τάσης παίρνει στην είσοδό του με feedback την τάση στην έξοδο της γεννήτριας και το ρεύμα διέγερσης από το κύκλωμα διέγερσης για να δώσει στην έξοδό του την απαραίτητη τάση διέγερσης v_e για να επανέλθει η τάση στα επιθυμητά επίπεδα.
- Ο ρυθμιστής στροφών ή Governor παίρνει από την έξοδο της γεννήτριας την ενεργό ισχύ που αυτή παράγει, την ταχύτητα περιστροφής της και κάποια σήματα αναφοράς. Στην έξοδό του δίνει στην κινητήρια μηχανή της γεννήτριας την απαραίτητη ισχύ που πρέπει να παραχθεί για να επανέλθει η συχνότητα στα 50 Hz μετά από κάποια αποσταθεροποίηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Ακολουθούν οι πίνακες με τις επιμέρους παραμέτρους των ρυθμιστών τάσης για τον κάθε σταθμό, καθώς και κάποια επεξηγηματικά σχήματα στα οποία φαίνεται η λειτουργία του κάθε είδους ρυθμιστή.

Πίνακας 8: Παράμετροι του ρυθμιστή τάσης EXST1 των ατμοστροβίλων στον Αθερινόλακκο

Παράμετρος	Τιμή
T_R	0.02
T_B	20
T_C	2
K_A	200
T_A	0.03
K_C	0.01
K_F	0.03
T_F	1
V_{imin}	-0.2
V_{rmin}	-5.85
V_{imax}	0.2
V_{rmax}	5.85

Πίνακας 9: Παράμετροι του ρυθμιστή τάσης SEXS των Ντηζελογεννητριών στον Αθερινόλακκο

Παράμετρος	Τιμή
T_B	10
T_A	1
K	100
T_E	0,04
E_{min}	0
E_{max}	4.93

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

*Πίνακας 10: Παράμετροι ρυθμιστή τάσης SEXS των Ντηζελογεννητριών
στα Λινοπεράματα*

Παράμετρος	Τιμή
T_B	10
T_A	5.68
K	40
T_E	0.04
E_{min}	0
E_{max}	5.38

*Πίνακας 11: Παράμετροι ρυθμιστή τάσης SEXS των αεριοστροβίλων στα
Λινοπεράματα*

Παράμετρος	Τιμή
T_B	10
T_A	1
K	70
T_E	0.21
E_{min}	0
E_{max}	5.75

*Πίνακας 12: Παράμετροι ρυθμιστή τάσης SEXS των ατμοστροβίλων στα
Λινοπεράματα*

Παράμετρος	Τιμή
T_B	12
T_A	1.2
K	46
T_E	0.46
E_{min}	0

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

E_{\max} 4.508

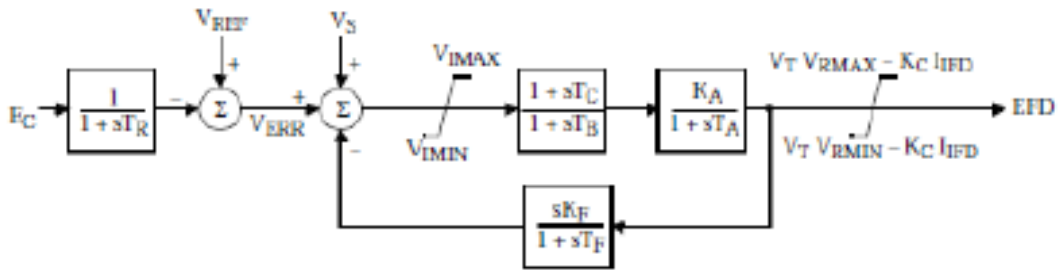
Πίνακας 13: Παράμετροι ρυθμιστή τάσης IEE2 του συνδρασμένου κύκλου στα Χανιά

Παράμετρος	Τιμή
T_R	0.015
K_A	500
T_A	0.01
K_E	1
T_E	0.21
$E1$	2.1
$Se1$	0.06
$E2$	5.4
$Se2$	0.22
K_F	0.06
$Tf1$	1
$Tf2$	0.4
V_{\min}	-6.8
V_{\max}	6.8

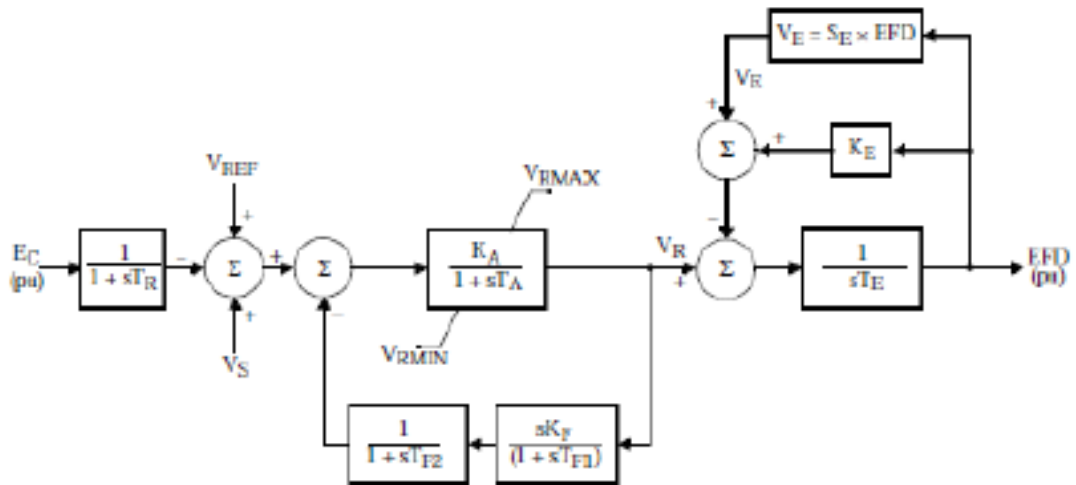
Πίνακας 14: Παράμετροι ρυθμιστή τάσης SEXS των αεριοστροβίλων στα Χανιά

Παράμετρος	Τιμή
T_B	10
T_A	5.68
K	40
T_E	0,04
E_{\min}	0
E_{\max}	4.93

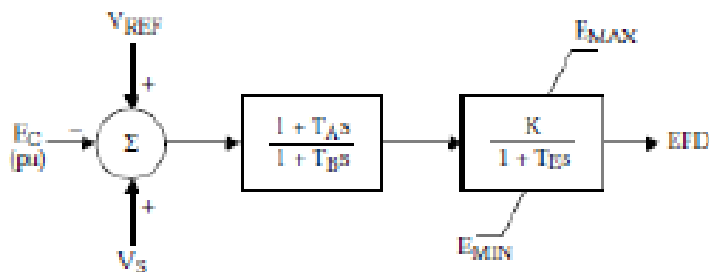
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 34: Μπλόκ διάγραμμα του ρυθμιστή τάσης EXST1



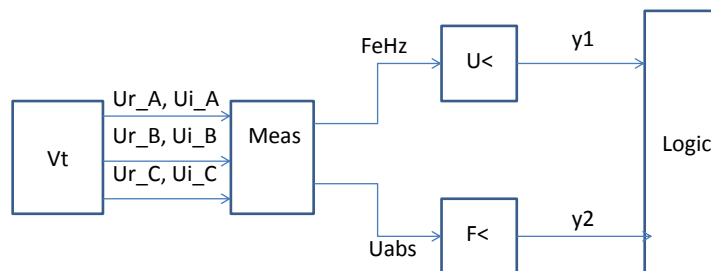
Εικόνα 35: Μπλόκ διάγραμμα του ρυθμιστή τάσης IEEET2



Εικόνα 36: Μπλόκ διάγραμμα του ρυθμιστή τάσης SEXST

5.4.4 Η προστασία των αιολικών

Undervoltage-Underfrequency Relay



Εικόνα 37: Μπλοκ διάγραμμα ρελαί προστασίας αιολικών

Για την προστασία των αιολικών χρησιμοποιήθηκε το ρελαί του παραπάνω σχήματος. Η λειτουργία του έχει ως εξής:

- Ένας μετασχηματιστής τάσης στην έξοδο των αιολικών μετρά πραγματικό και φανταστικό μέρος της τάσης.
- Γίνεται επεξεργασία των ακατέργαστων σημάτων για τη μετατροπή τους σε σήματα μέτρησης.
- Συγκρίνονται τα σήματα μέτρησης με τις οριακές τιμές τάσης και συχνότητας και ανάλογα παράγεται σήμα 0 ή 1, λαμβάνοντας υπ' όψη το χρόνο καθυστέρησης.
- Τα δύο σήματα εισάγονται σε μια πύλη OR και ανάλογα οπλίζει το ρελαί ή όχι.

6. Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρατεθούν τα αποτελέσματα προσομοιώσεων για διαφορετικές καταστάσεις του ΣΗΕ του νησιού και της διασύνδεσης. Αρχικά μελετάμε τη λειτουργία του ΣΗΕ της Κρήτης σε απομονωμένη κατάσταση, χωρίς δηλαδή τη διασύνδεση. Σε κάθε ένα από τα σενάρια φόρτισης του δικτύου, εξετάζουμε πως επηρεάζεται η ομαλή λειτουργία του συστήματος από τις εξής διαταραχές:

Διαταραχή 1: Απώλεια Μονάδας με τη μεγαλύτερη παραγωγή ενεργού ισχύος στο εκάστοτε σενάριο.

Διαταραχή 2: Βραχυκύκλωμα στο ζυγό της Σητείας.

6.1 Απομονωμένη λειτουργία (χωρίς διασύνδεση)

Οι γραφικές παραστάσεις που εξάγονται αφορούν στην τάση των ζυγών που έχουν το μεγαλύτερο φορτίο, τη συχνότητα του συστήματος και την παραγωγή ενεργού και αέργου ισχύος από όλους τους σταθμούς.

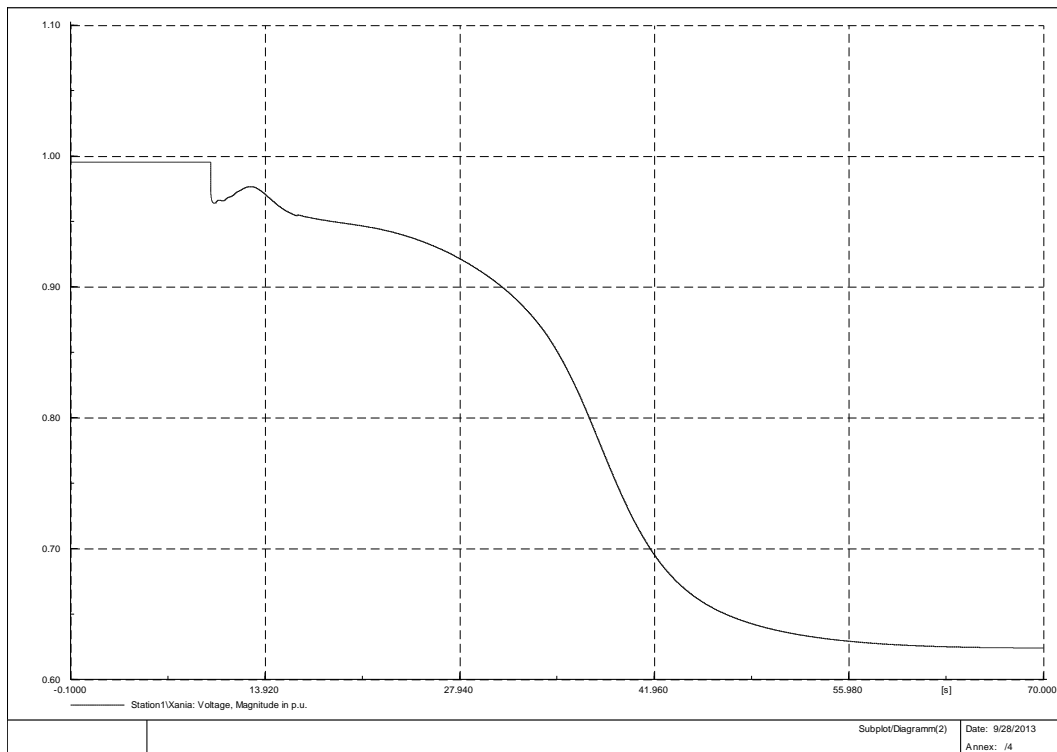
6.1.1 Σενάριο 1

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα γραφήματα για τις δύο μεταβολές που πραγματοποιήθηκαν στο σύστημα της Κρήτης σε πλήρη φόρτιση.

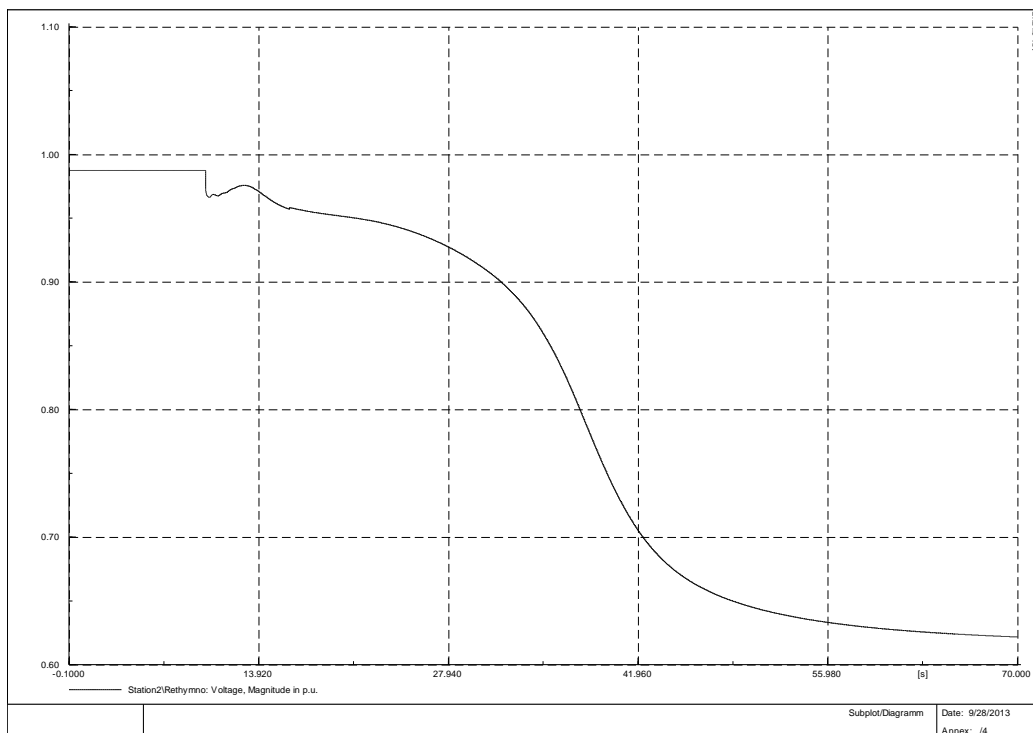
Διαταραχή 1: Απώλεια Μονάδας Χανίων συνδυασμένου κύκλου

Στα 10s πραγματοποιείται η απώλεια της μονάδας Συνδυασμένου Κύκλου στα Χανιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

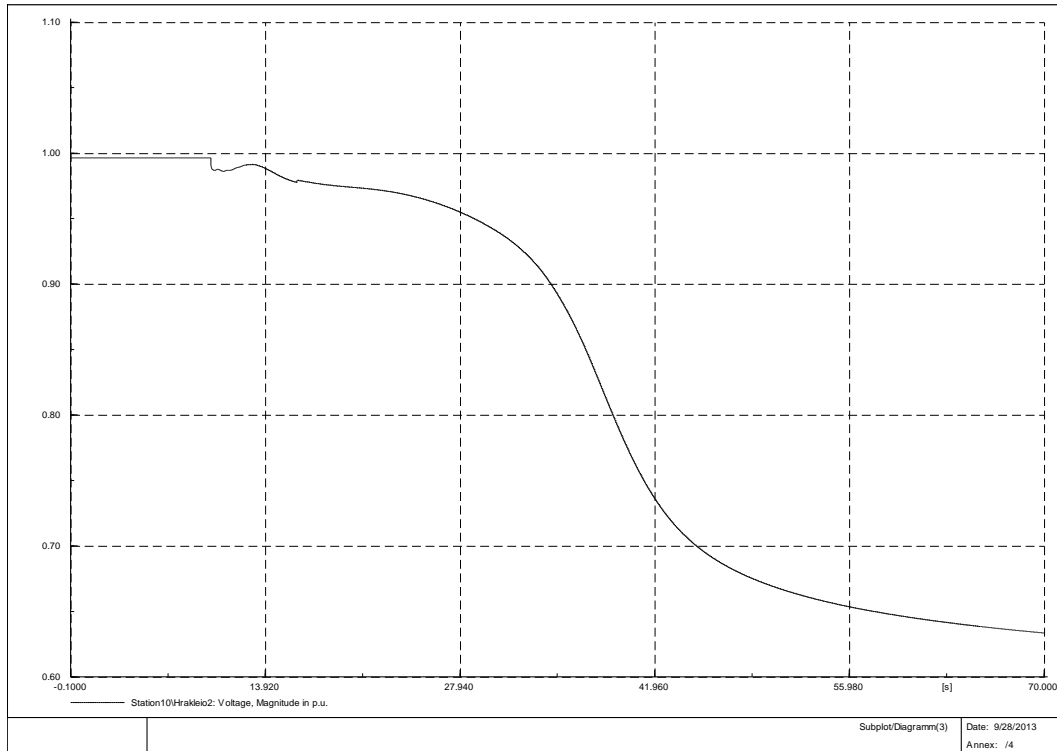


Εικόνα 38: Μέτρο της τάσης στο ζυγό των Χανίων

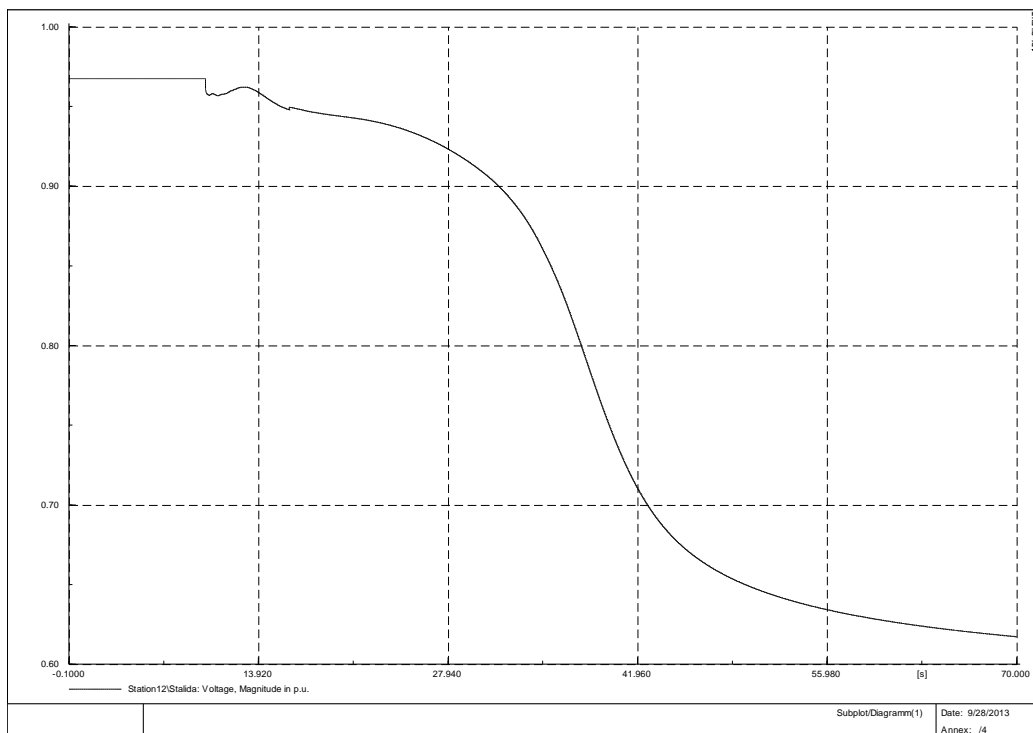


Εικόνα 39: Μέτρο της τάσης στο ζυγό του Ρεθύμνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

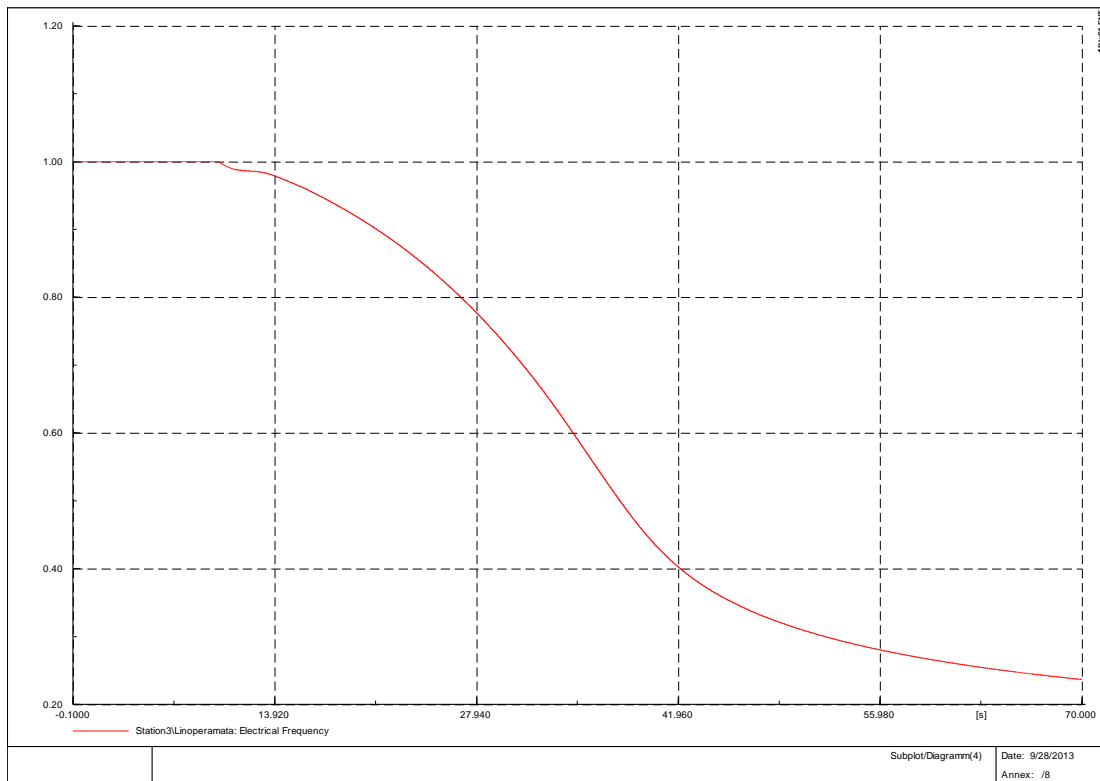


Εικόνα 40: Μέτρο της τάσης στο ζυγό Ηράκλειο II

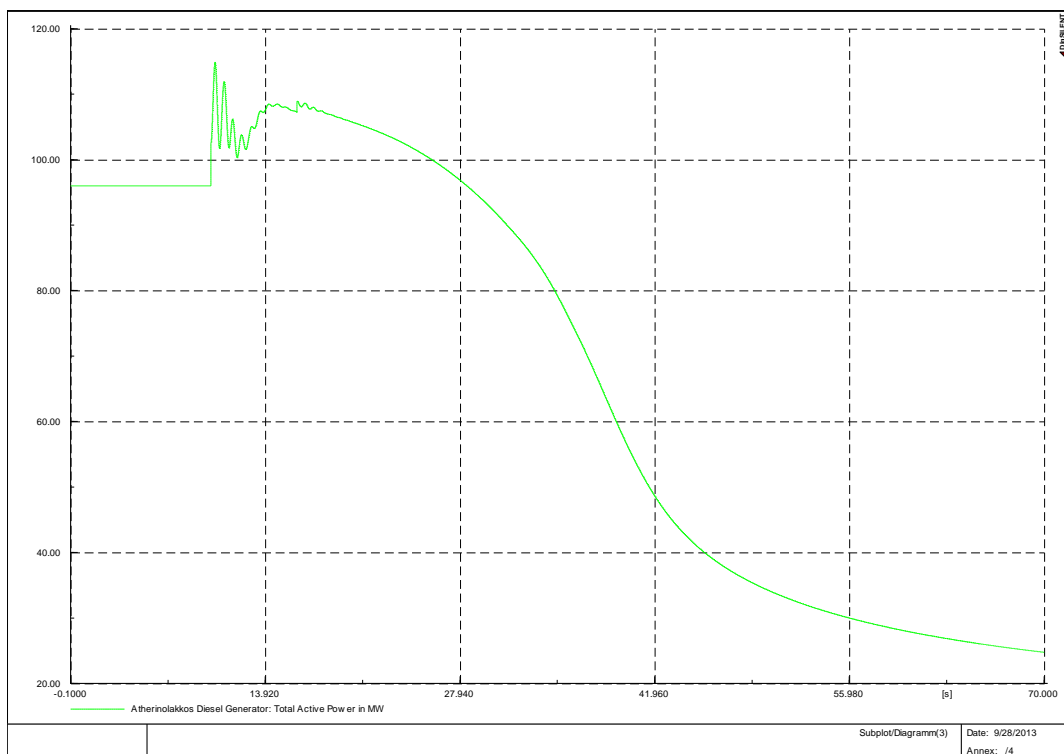


Εικόνα 41: Μέτρο της τάσης στο ζυγό Σταλίδας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

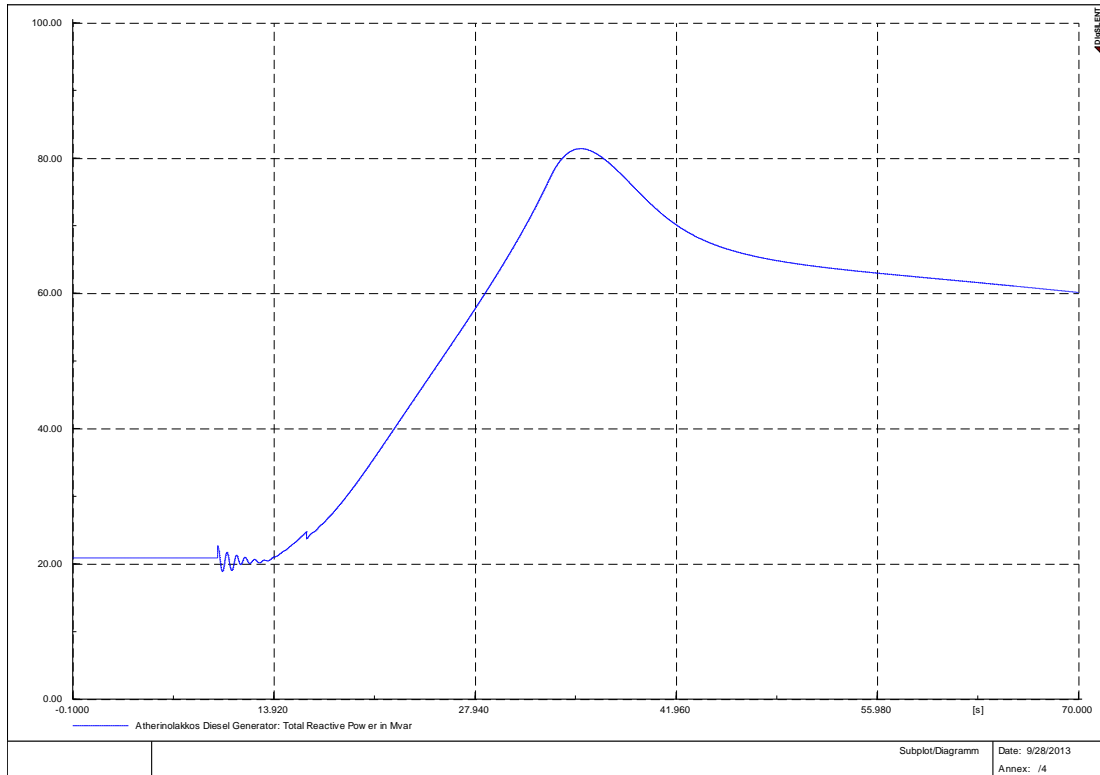


Εικόνα 42: Συχνότητα συστήματος

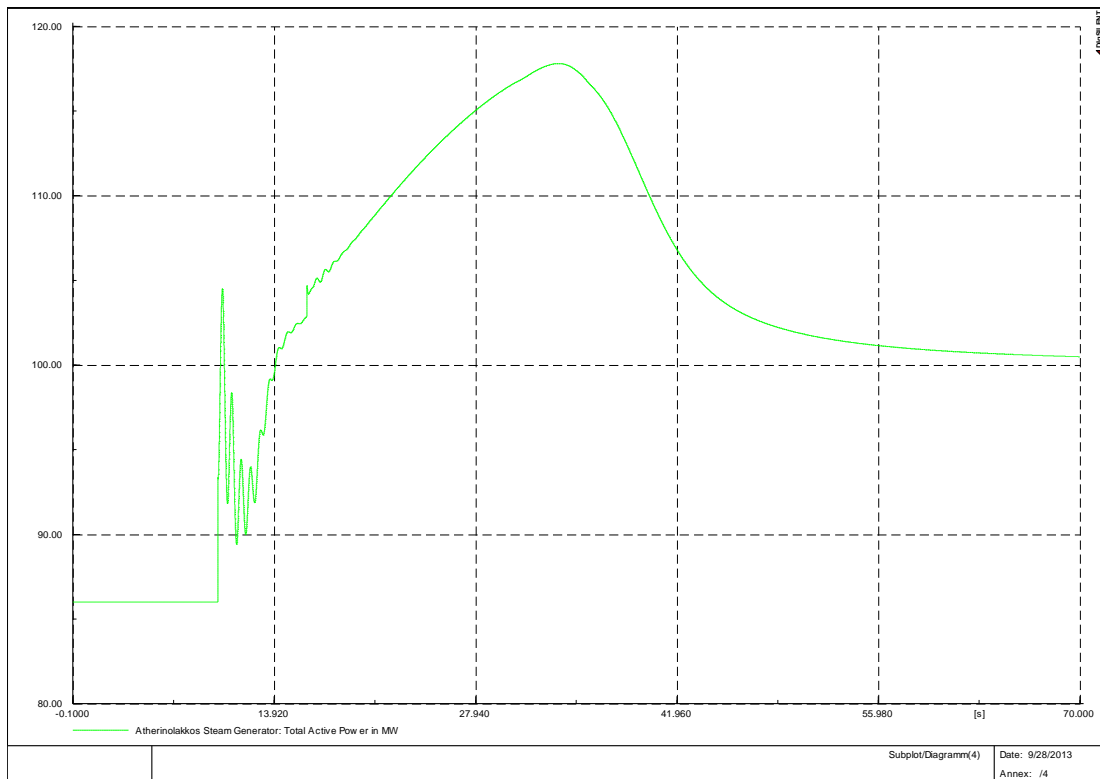


Εικόνα 43: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

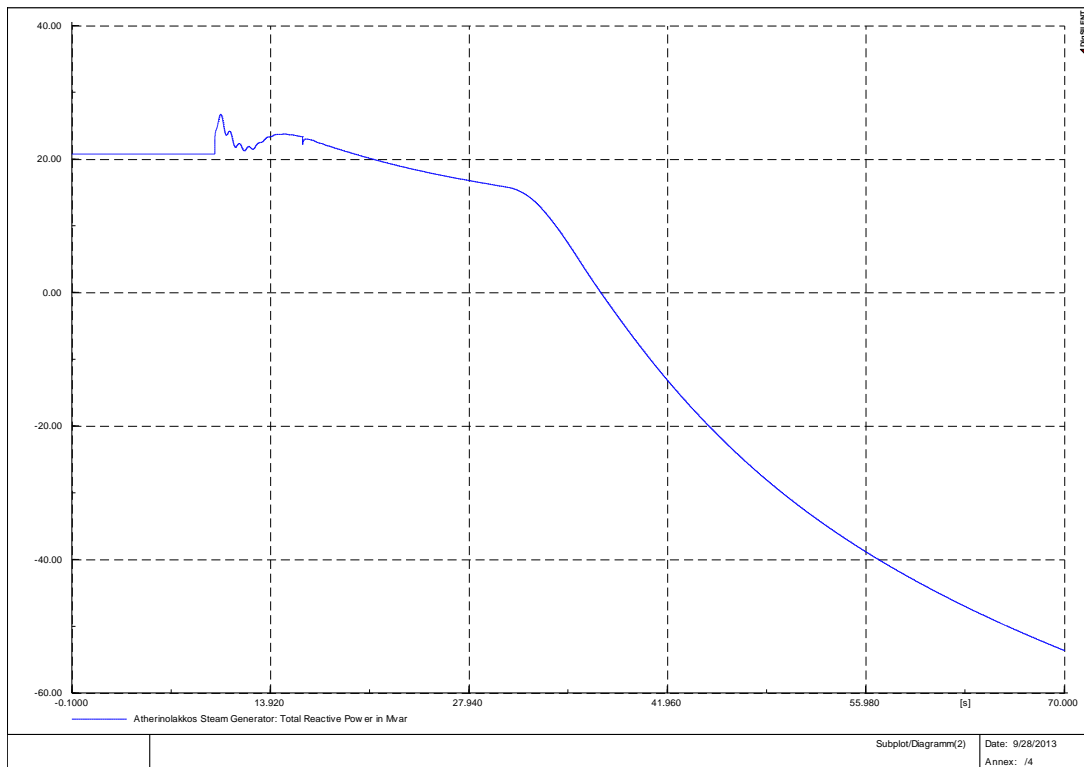


Εικόνα 44: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθερινόλακκου

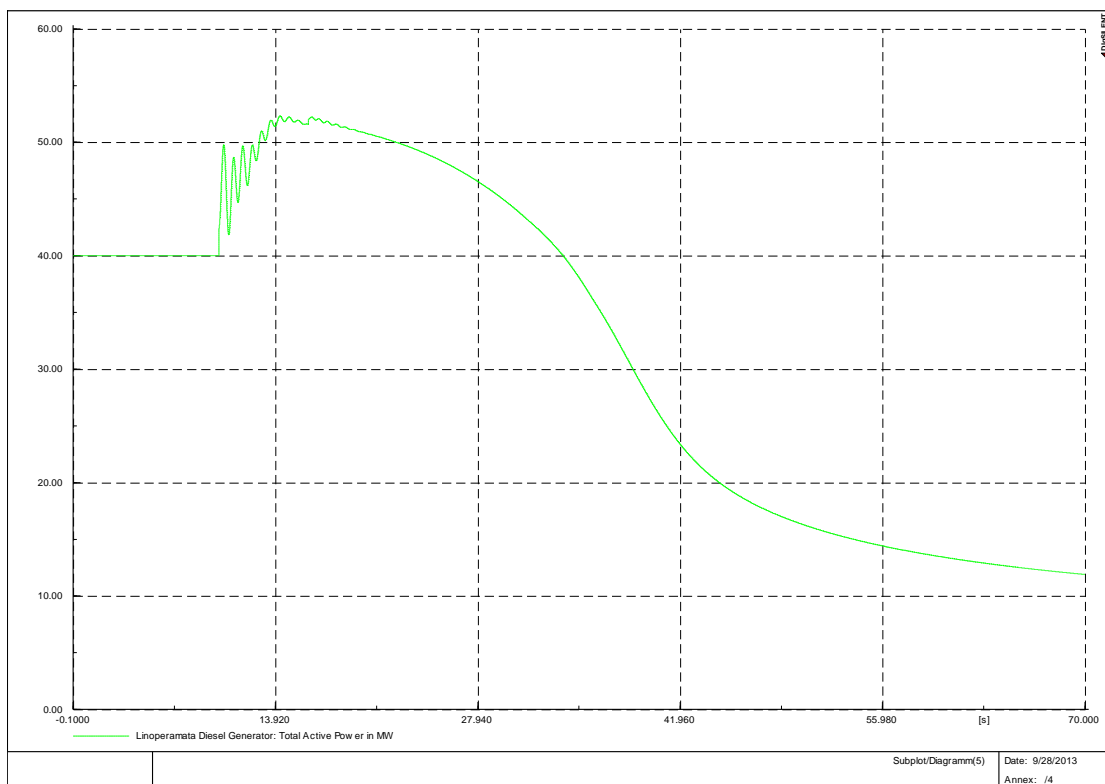


Εικόνα 45: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

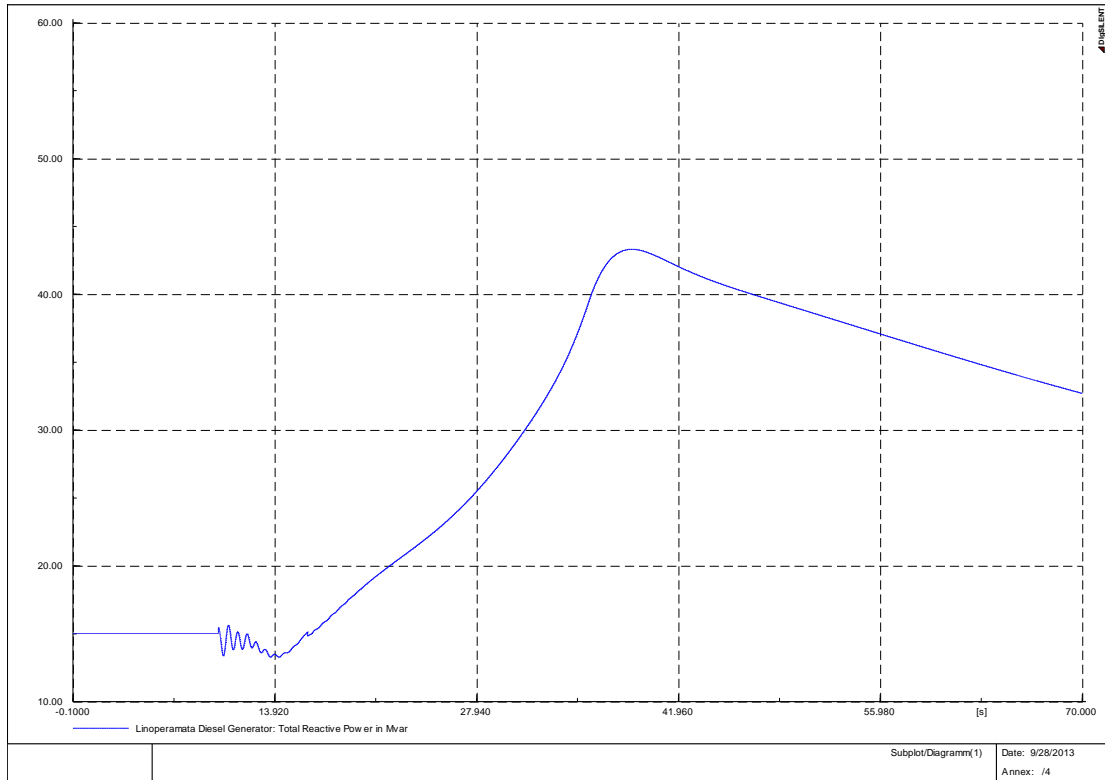


Εικόνα 46: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

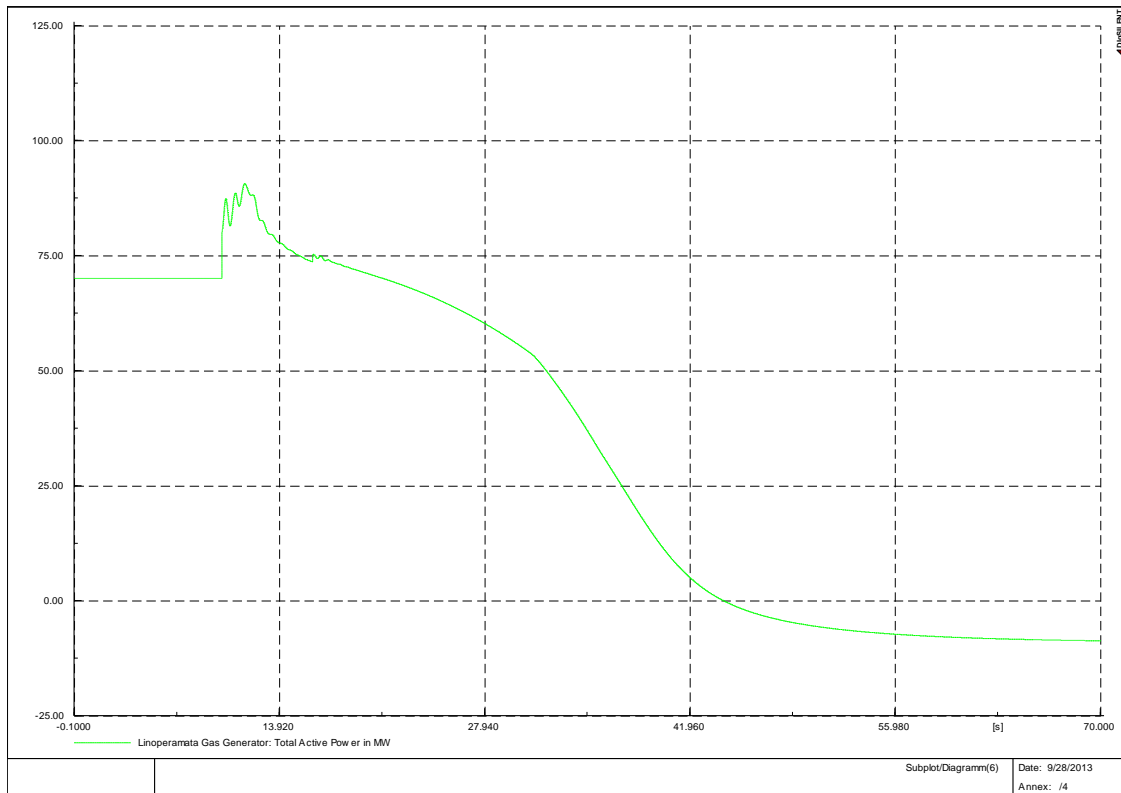


Εικόνα 47: Ενεργός Ισχύς Ντιζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

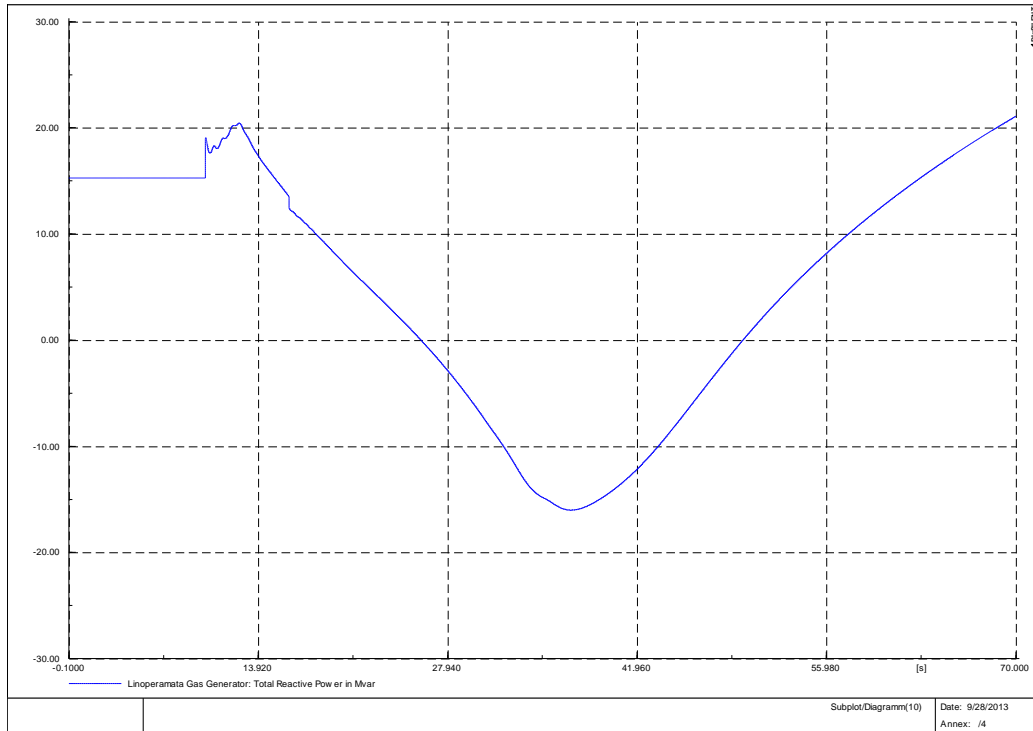


Εικόνα 48: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

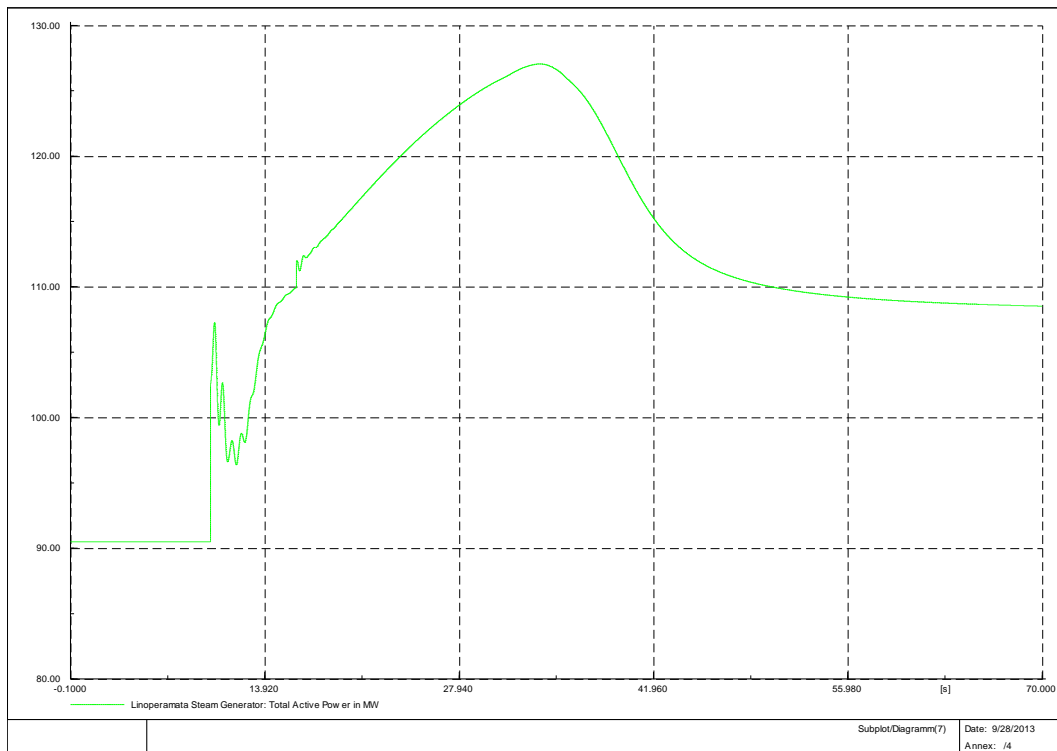


Εικόνα 49: Ενεργός Ισχύς Αεριοστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

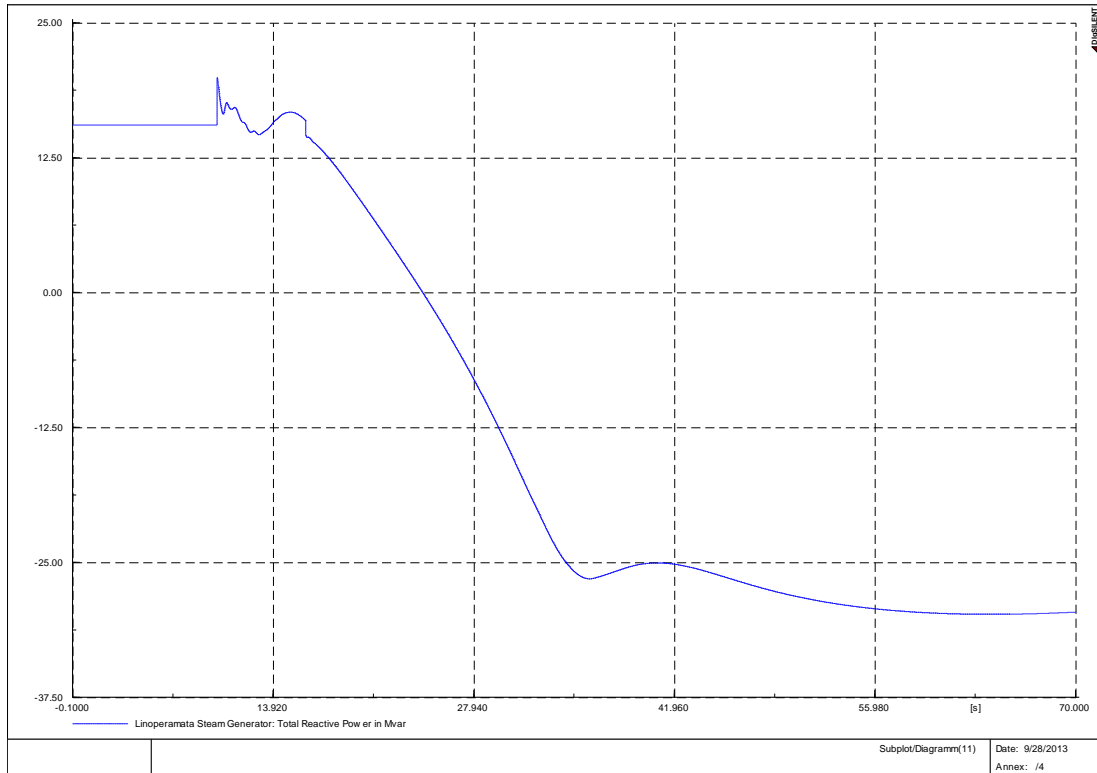


Εικόνα 50: Άεργος Ισχύς Γεννητριών Αεριοστροβίλων Λινοπεραμάτων

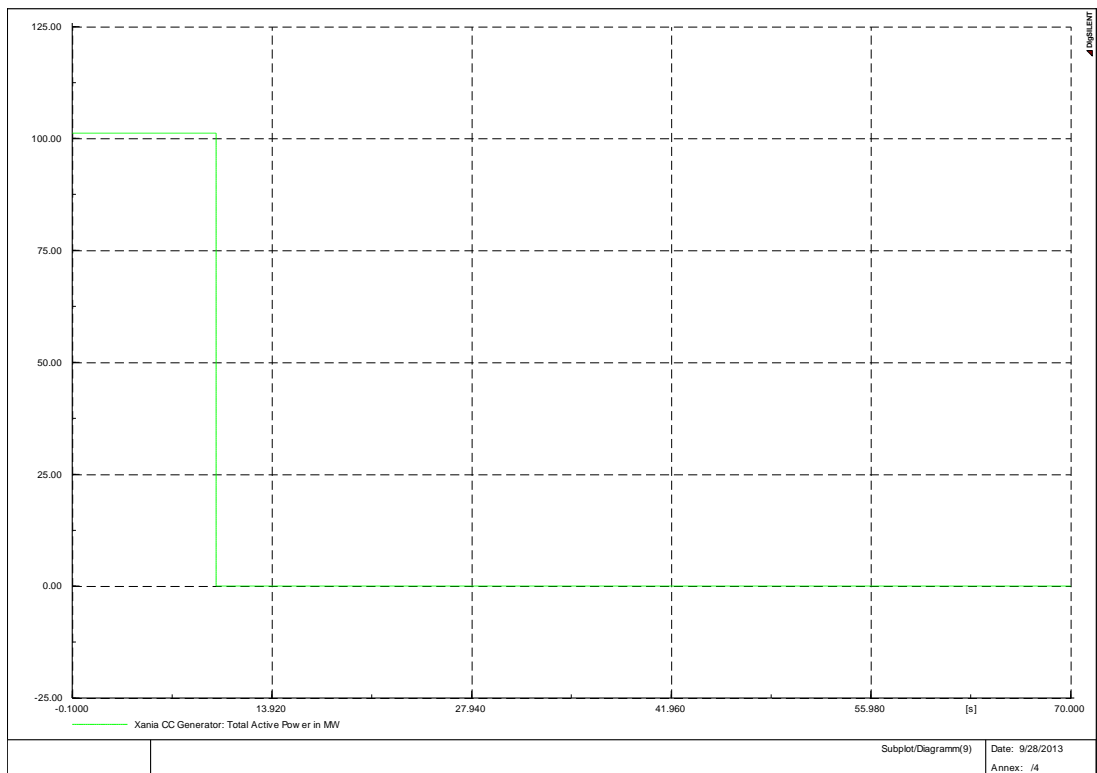


Εικόνα 51: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

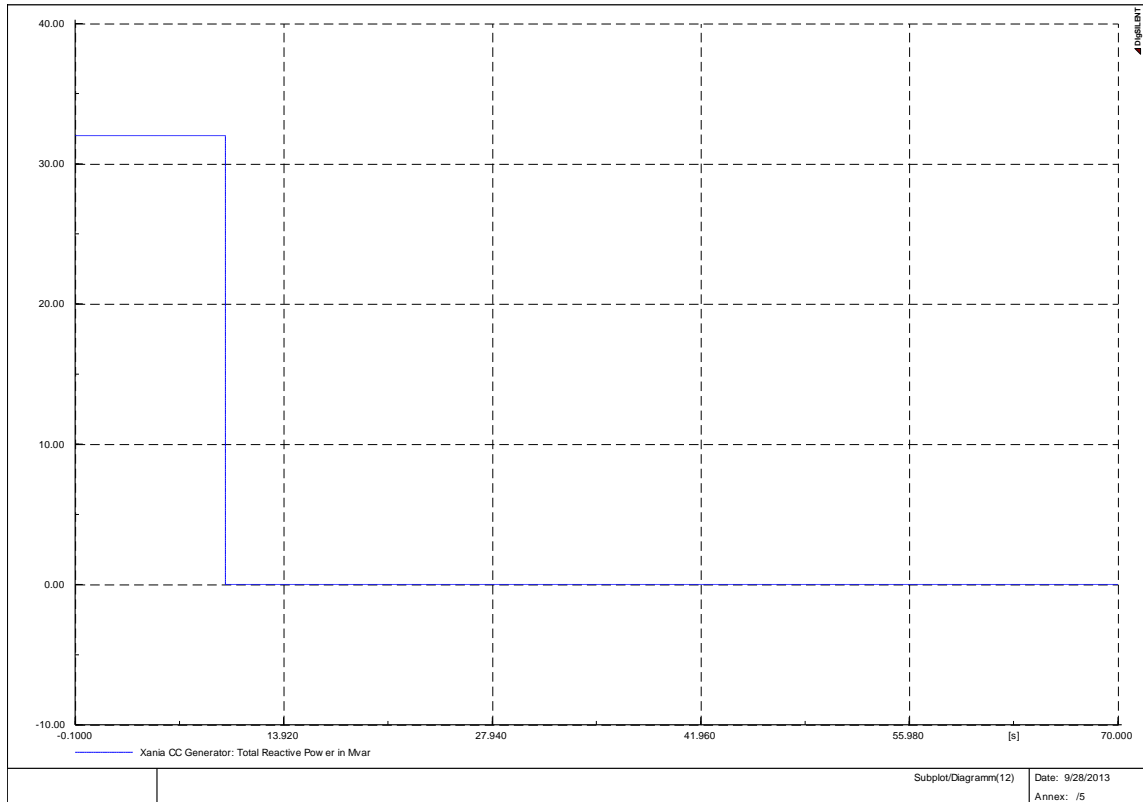


Εικόνα 52: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

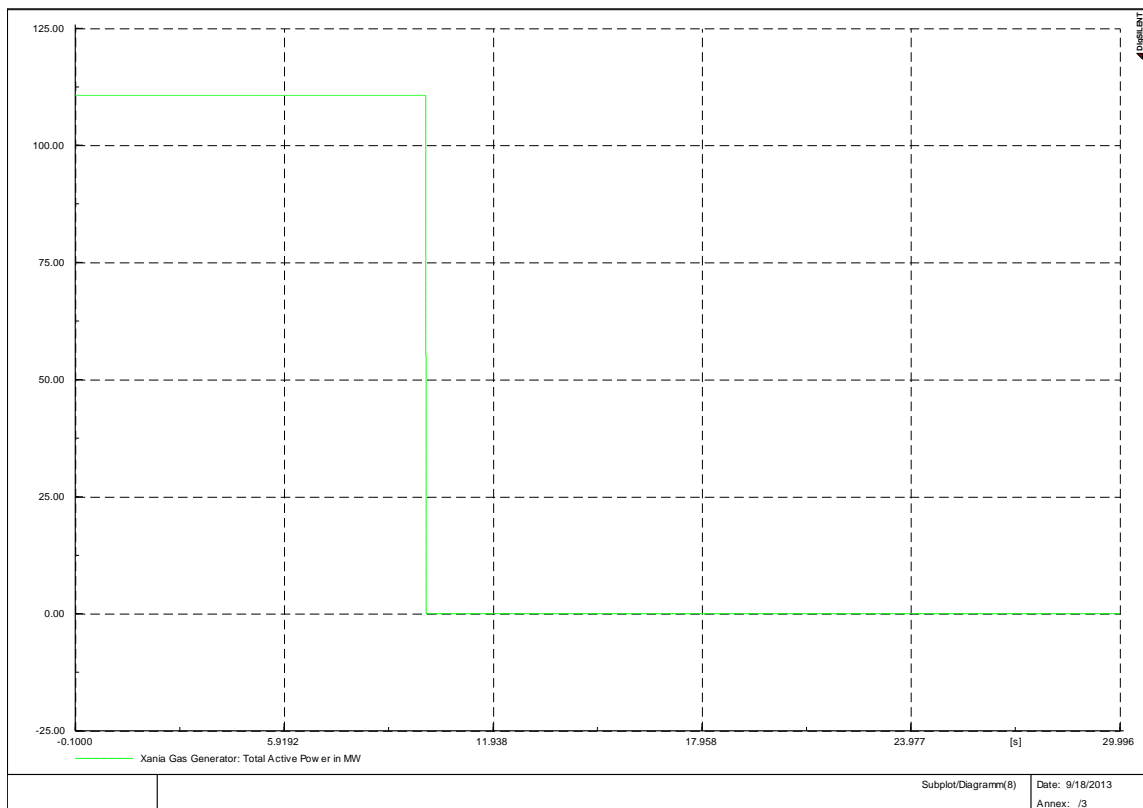


Εικόνα 53: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

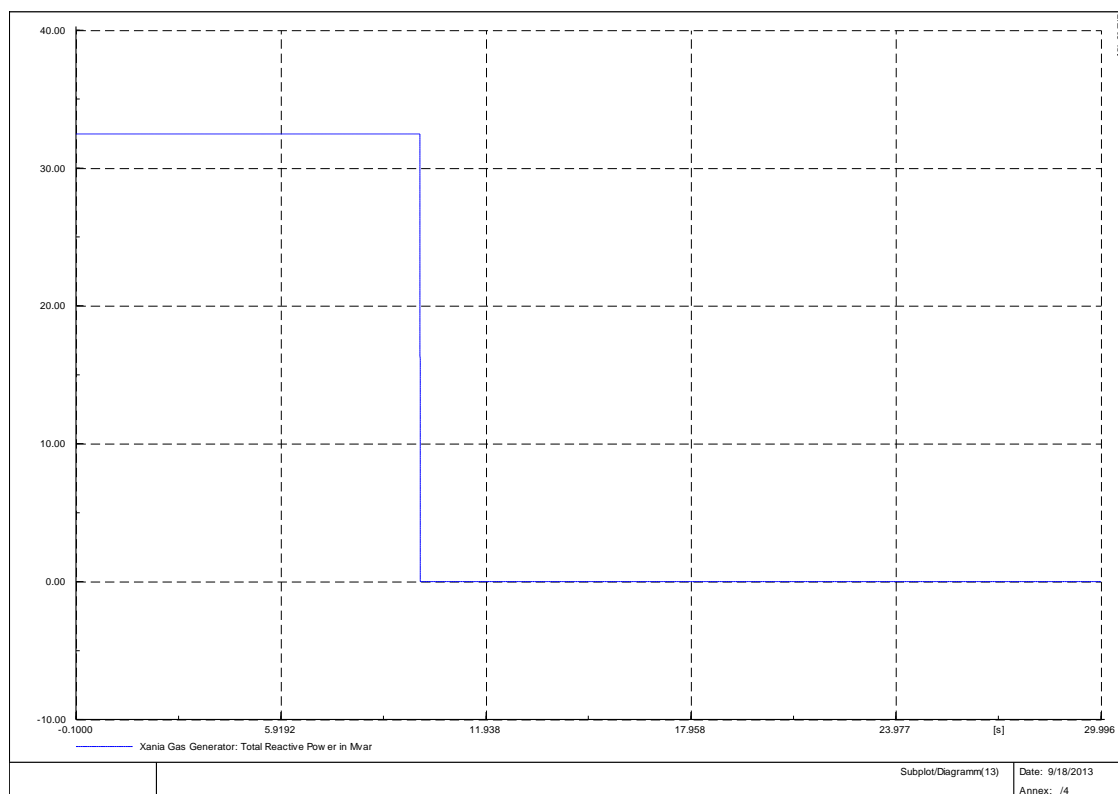
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 54: Άεργος Ισχύς Συνδασμένου Κύκλου Χανίων



Εικόνα 55: Ενεργός Ισχύς αεριοστροβίλων Χανίων



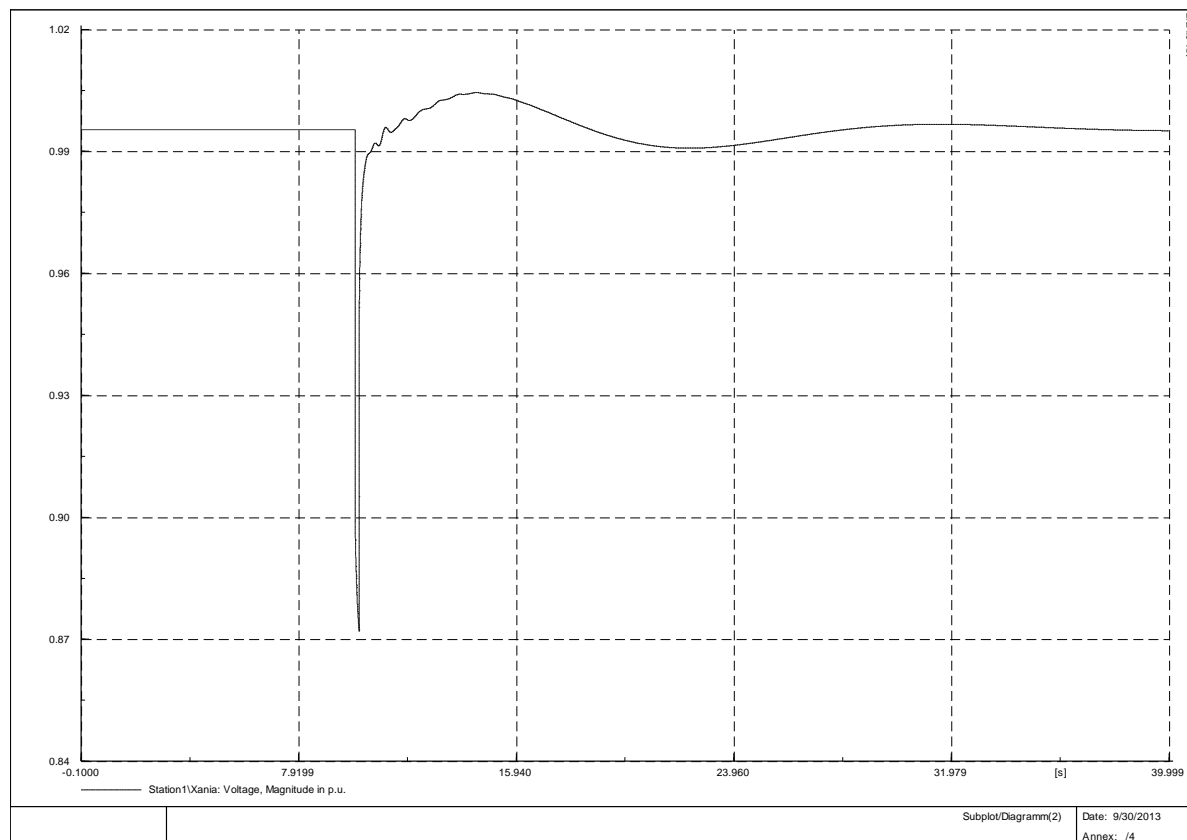
Εικόνα 56: Άεργος Ισχύς αεριοστροβίλων Χανίων

Όπως είναι προφανές, το σύστημα με την απώλεια της μονάδας συνδυασμένου κύκλου καταρρέει, αφού η τάση σε όλους τους ζυγούς είναι σχεδόν πανομοιότυπη φτάνοντας μέχρι και κάτω από 0,65 α.μ. ενώ η συχνότητα πέφτει κοντά στο 0,20 α.μ (10 Hz).

Η αστάθεια στην οποία βρίσκεται το σύστημα φαίνεται και από τις παραγωγές των σταθμών. Είναι προφανές και από αυτές τις γραφικές παραστάσεις πως το σύστημα ως έχει δε μπορεί να συνεχίσει τη λειτουργία του, αφού στην πλήρη φόρτιση δεν μπορεί να χαθεί σταθμός, πόσο μάλλον αυτός με τη μεγαλύτερη παραγωγή.

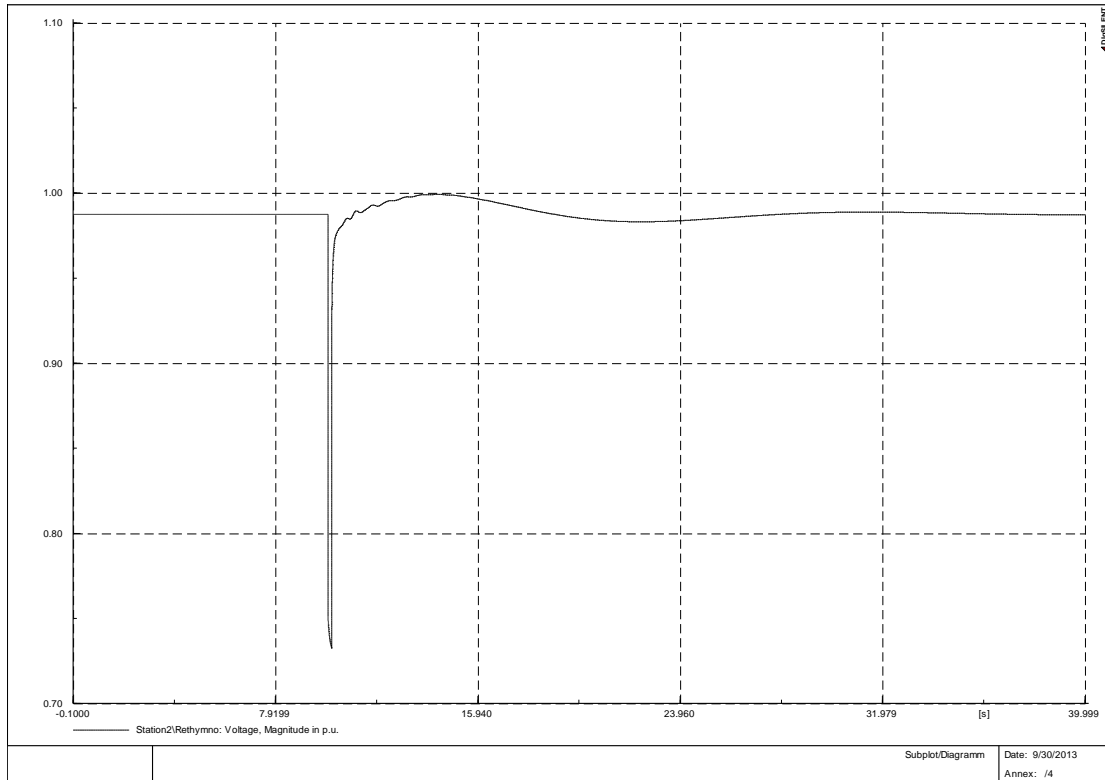
Διαταραχή 2: Βραχυκύκλωμα στο ζυγό της Σητείας

Στα 10 s πραγματοποιείται βραχυκύκλωμα στο ζυγό της Σητείας με μηδενική αντίδραση και αντίσταση. Το βραχυκύκλωμα εκκαθαρίζεται από την προστασία σε 150 ms.

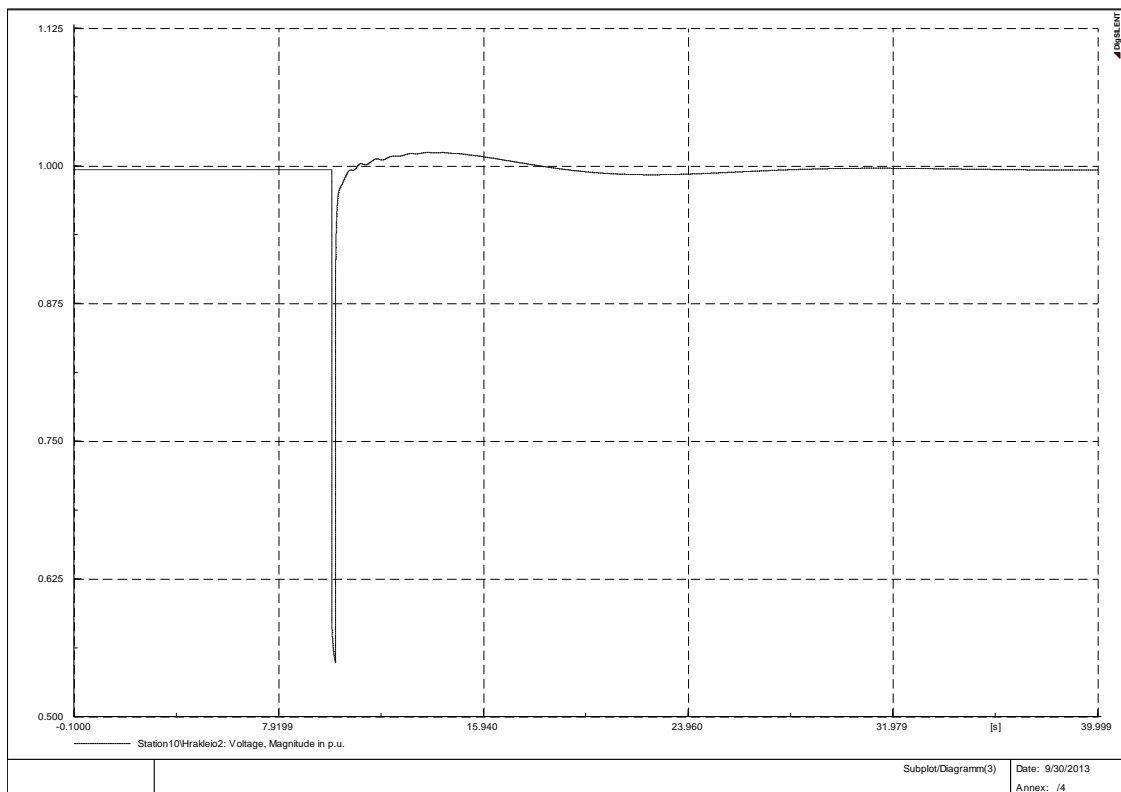


Εικόνα 57: Μέτρο Τάσης Ζυγού Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

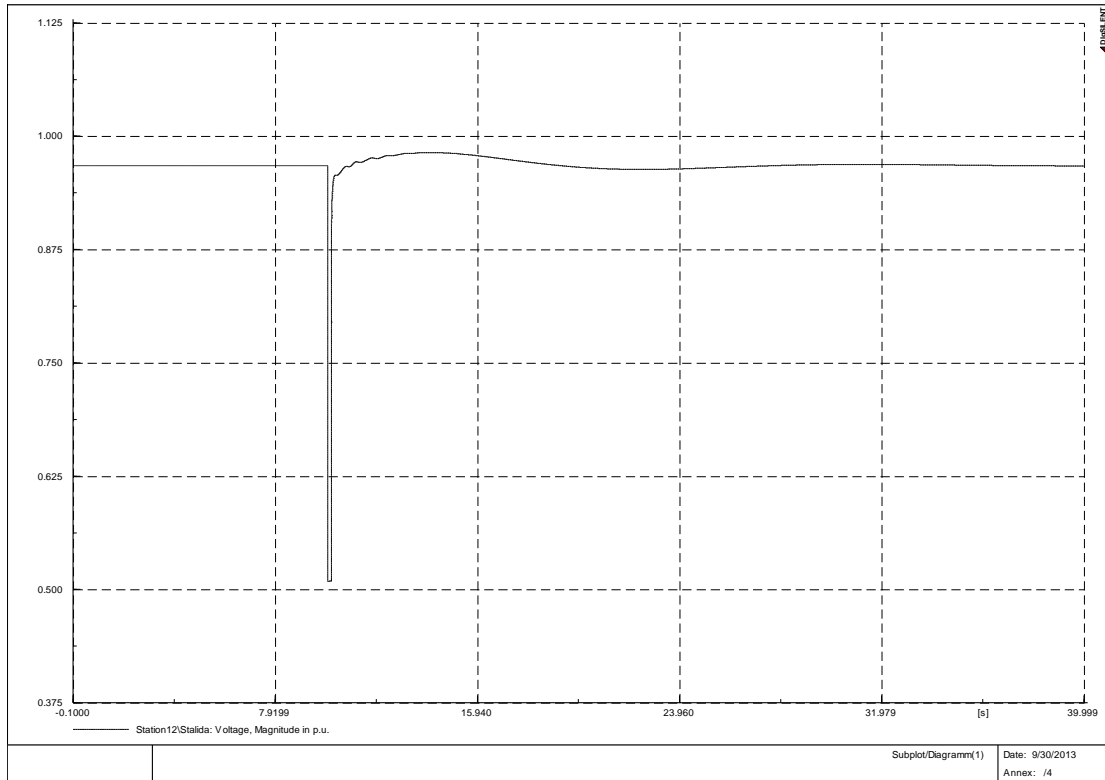


Εικόνα 58: Μέτρο Τάσης Ζυγού Ρεθύμνου

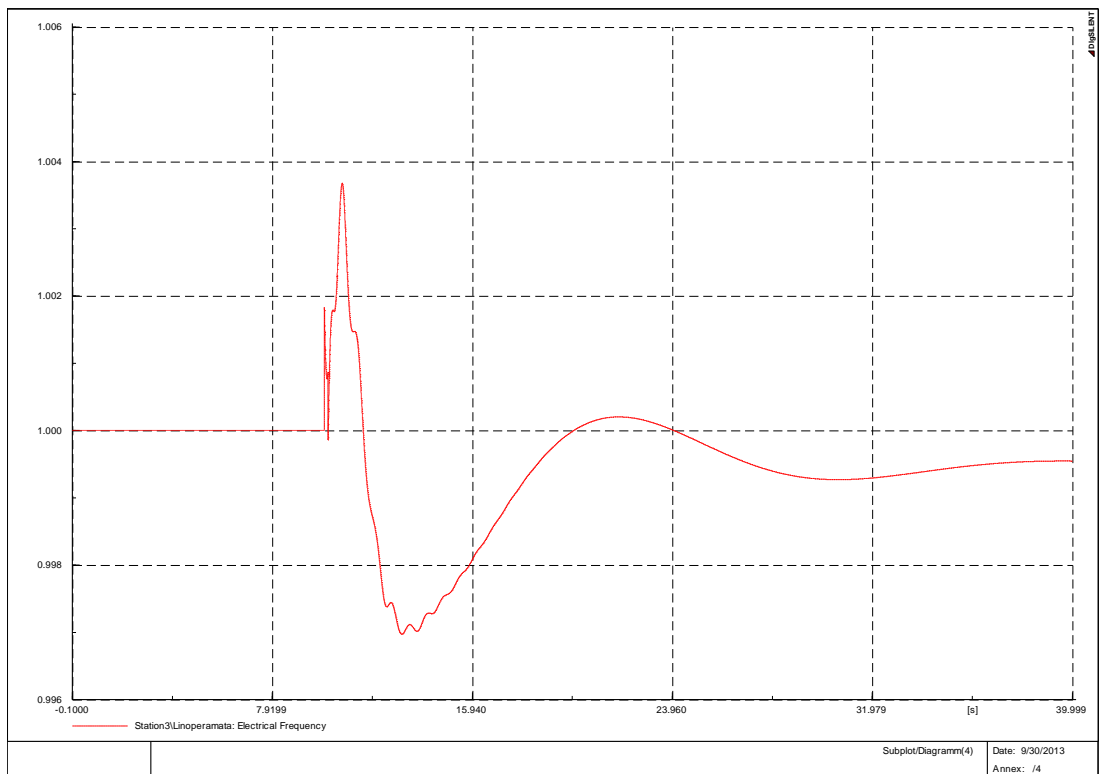


Εικόνα 59: Μέτρο Τάσης Ζυγού Ηράκλειο II

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

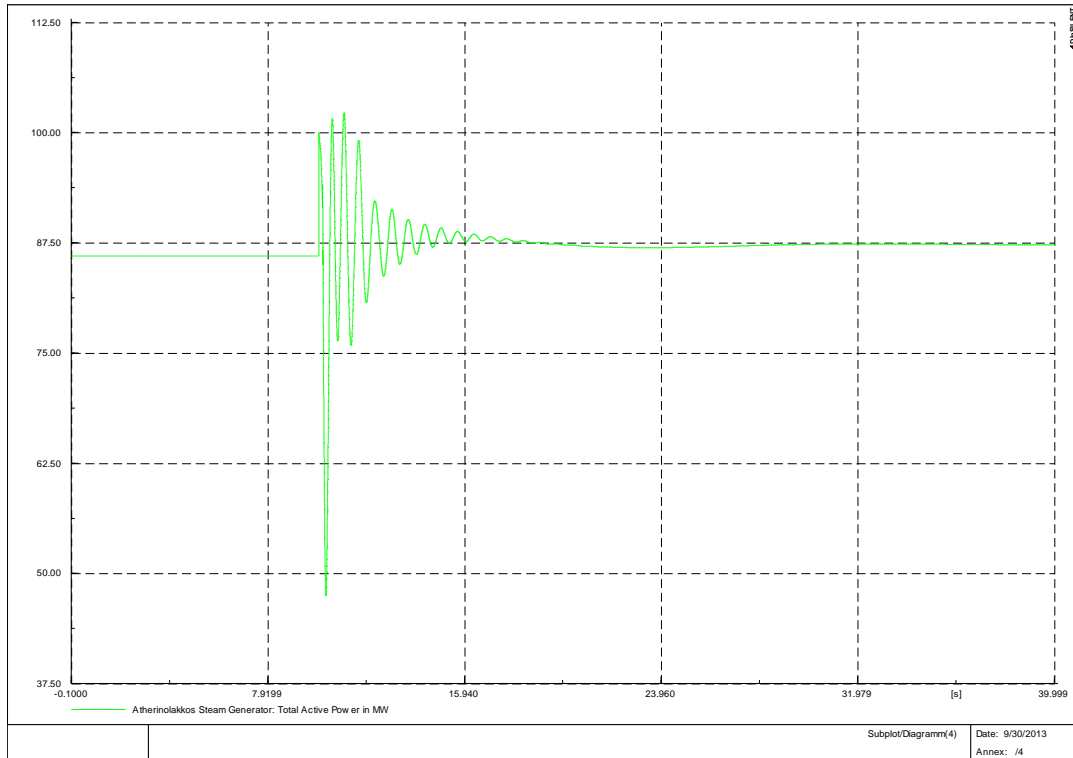


Εικόνα 60: Μέτρο Τάσης Ζυγού Σταλίδας

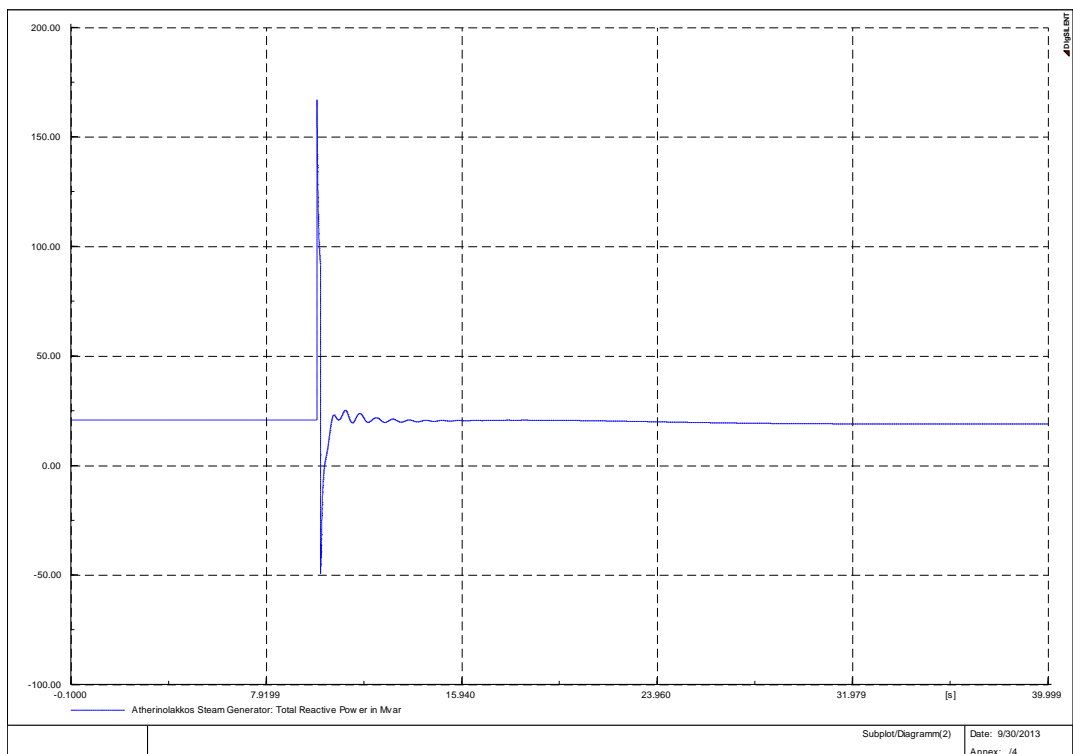


Εικόνα 61: Συχνότητα Συστήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

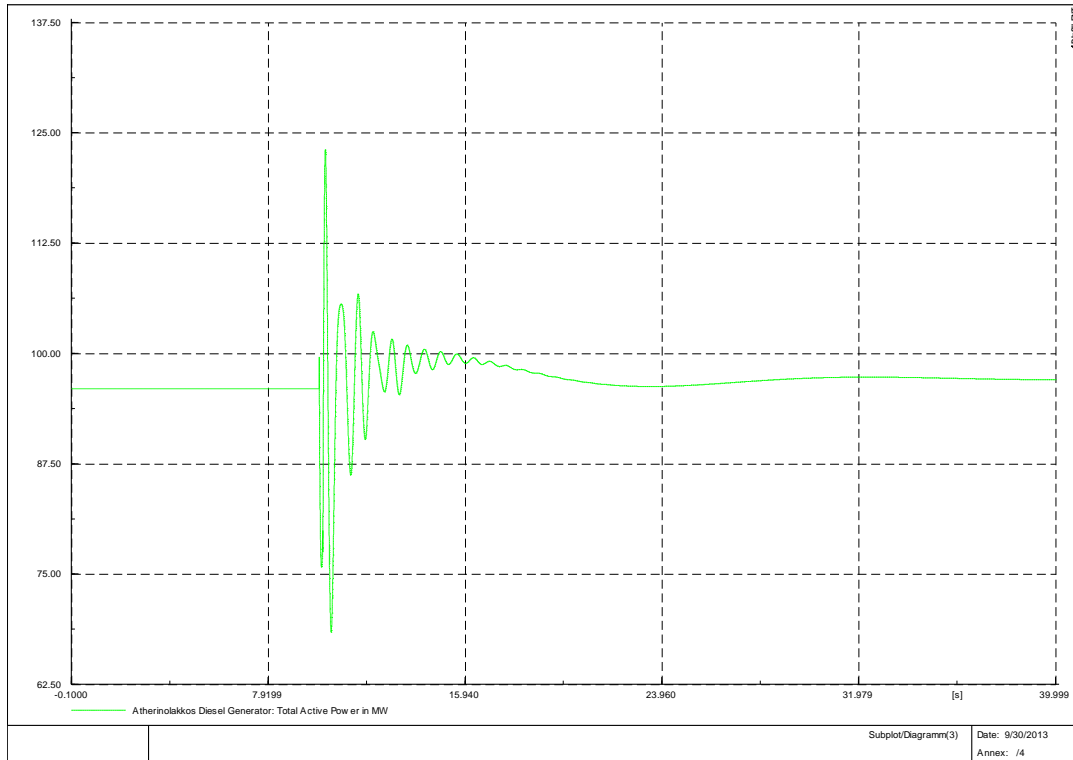


Εικόνα 62: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθρινόλακκου

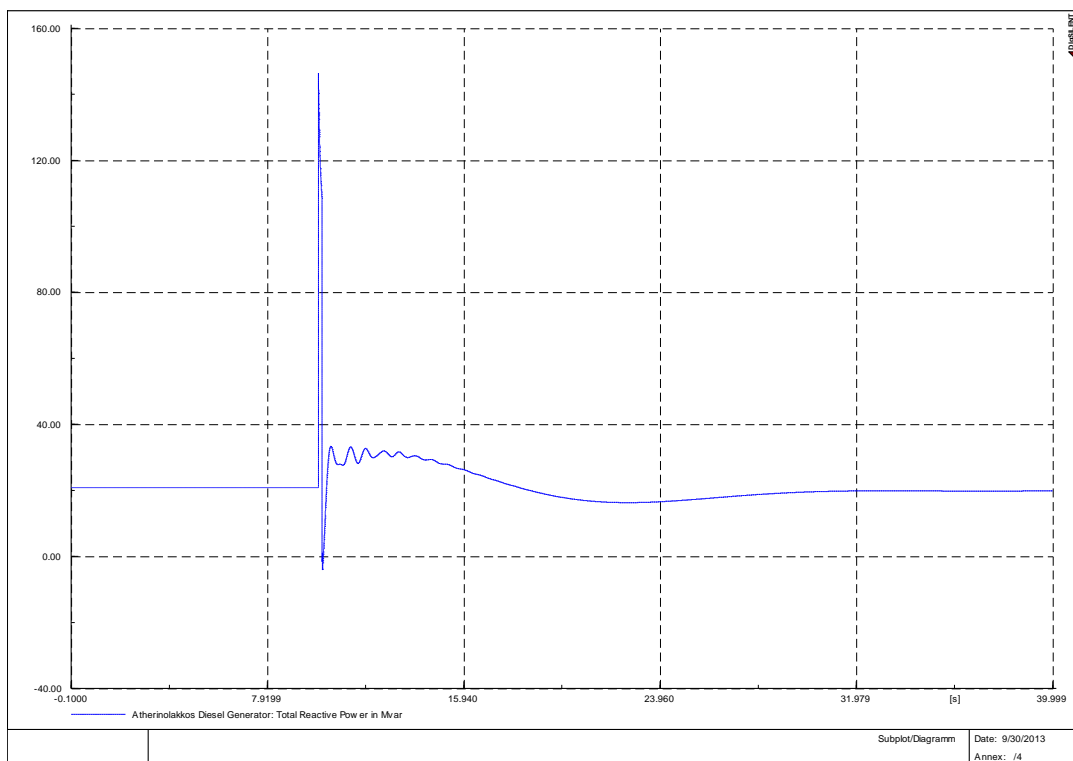


Εικόνα 63: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθρινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

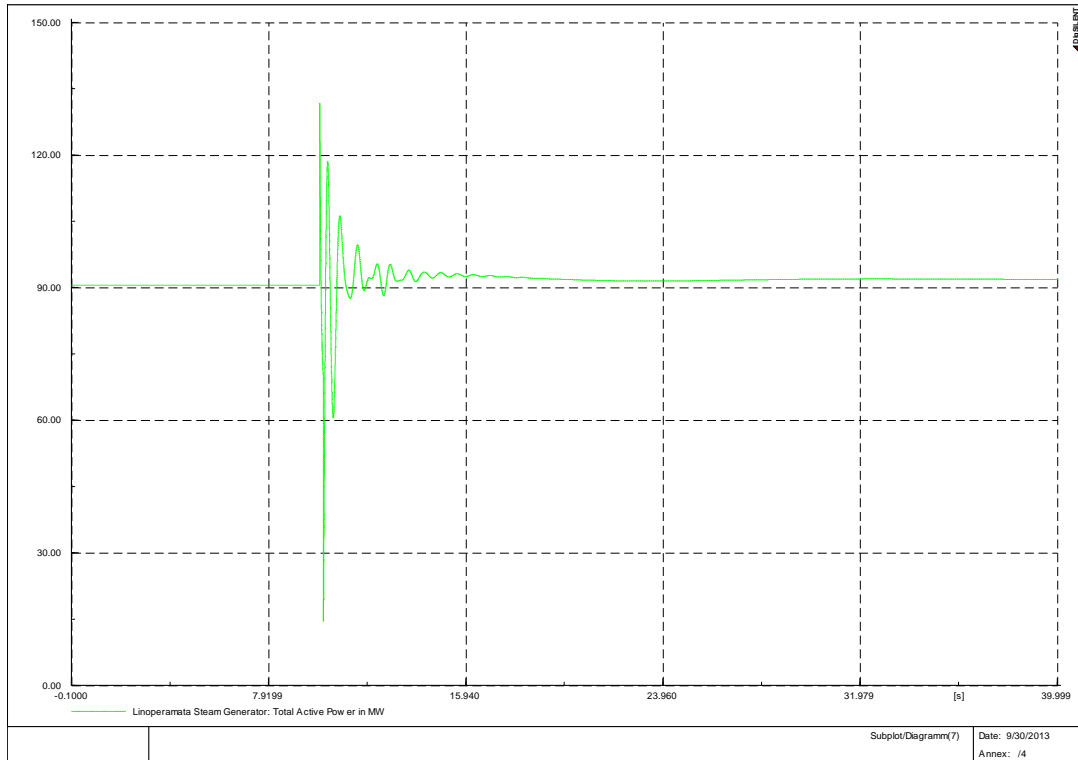


Εικόνα 64: Ενεργός Ισχύς Ντιζελογεννητριών Αθερινόλακκου

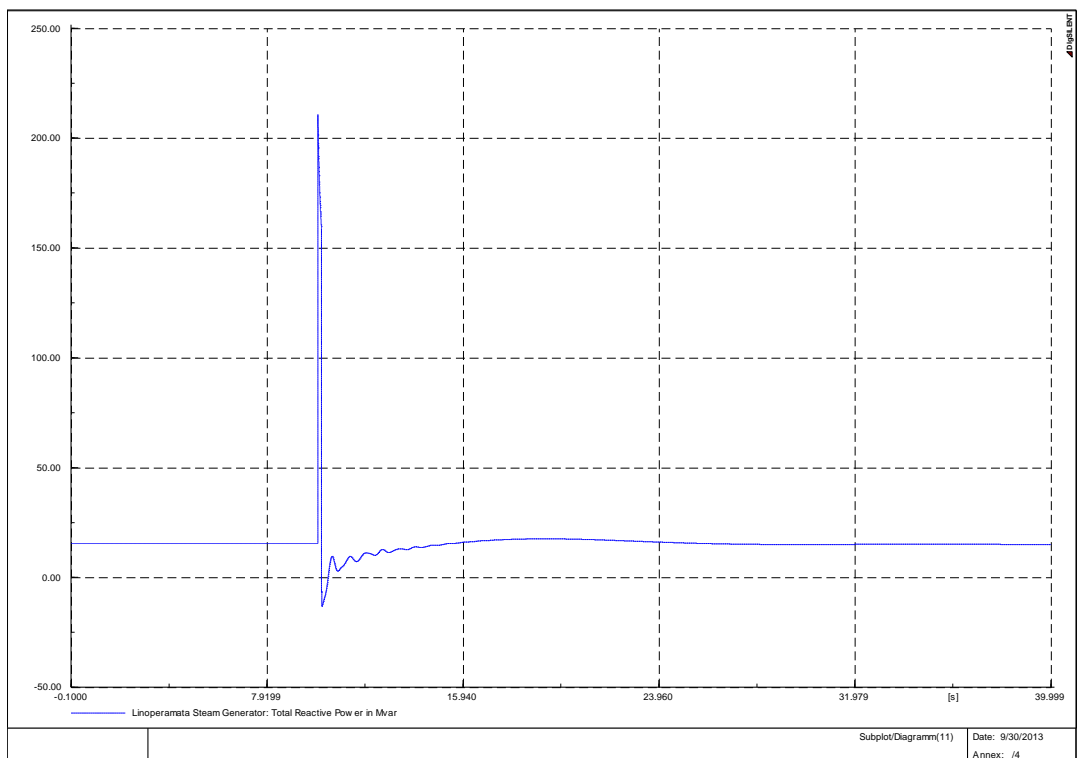


Εικόνα 65: Άεργος Ισχύς Ντιζελογεννητριών Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

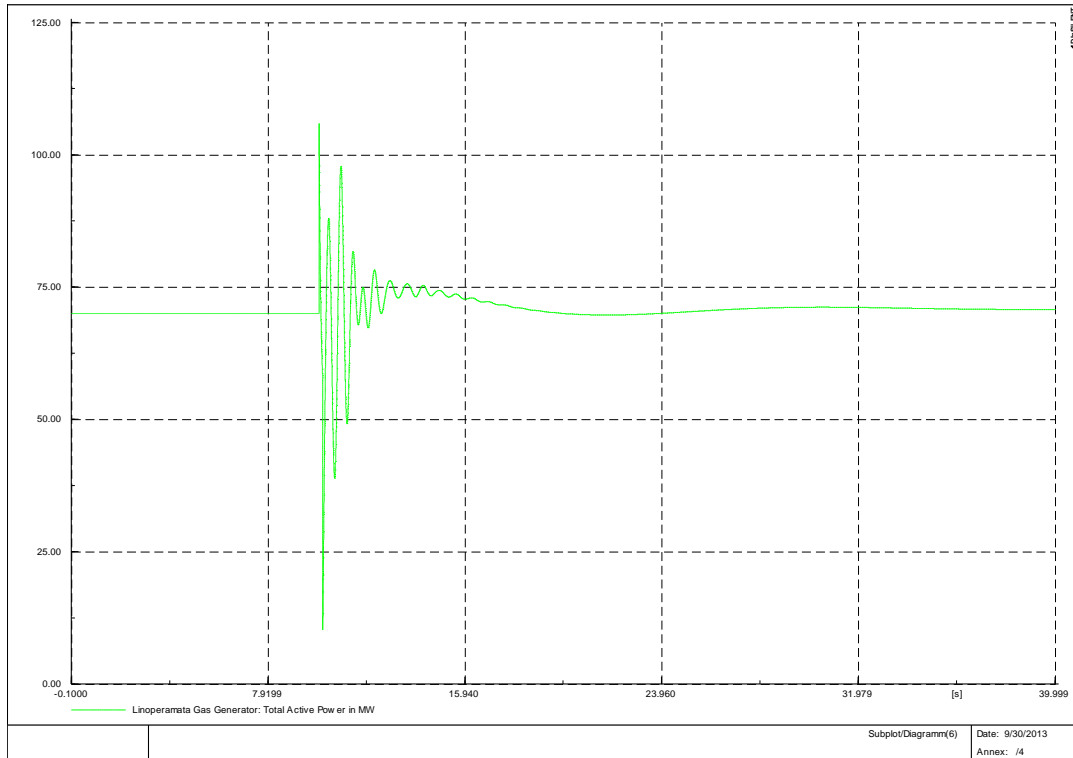


Εικόνα 66: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

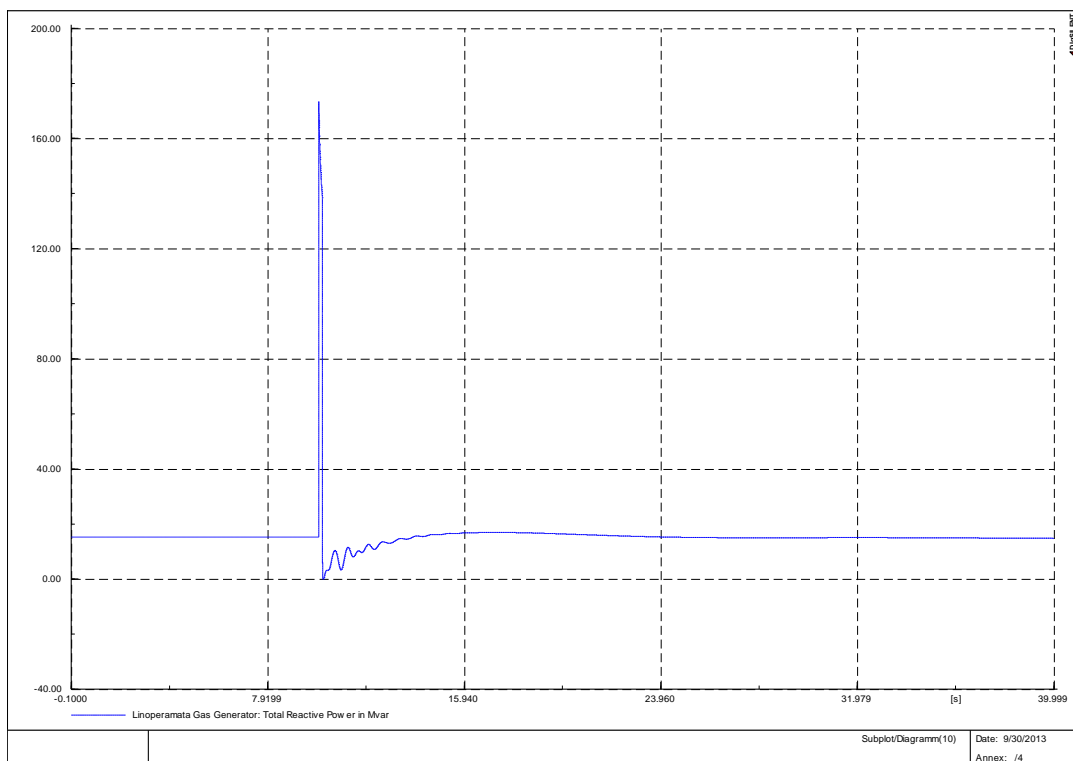


Εικόνα 67: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

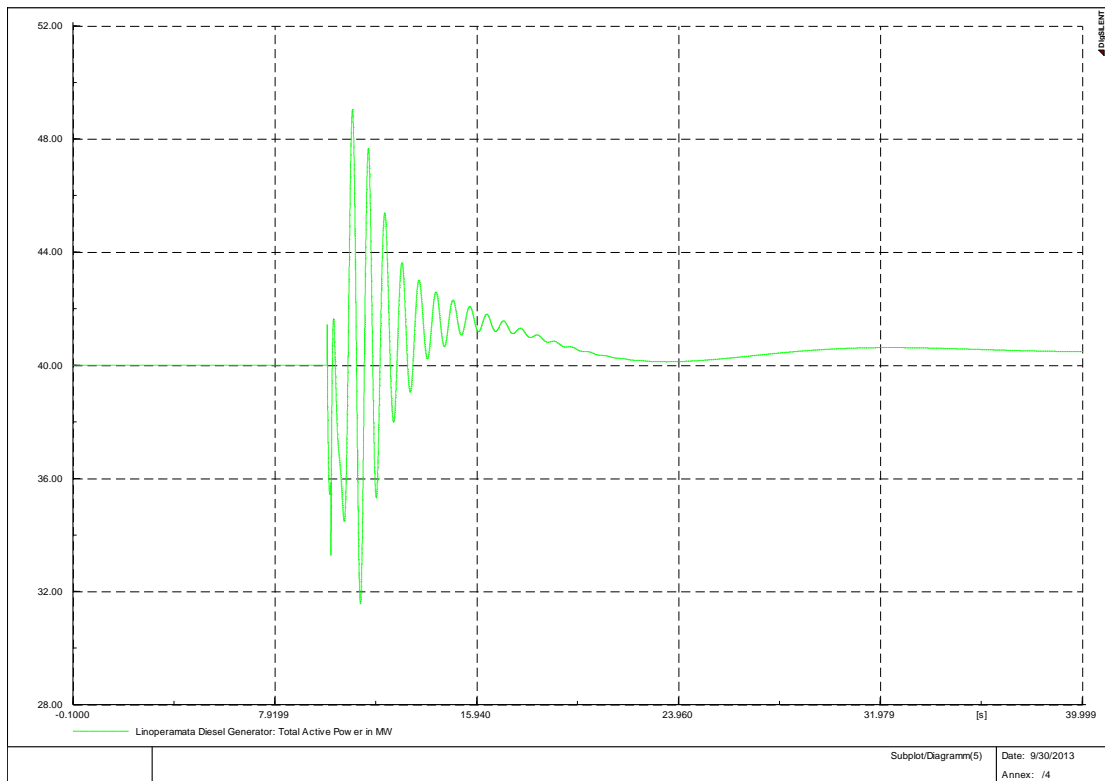


Εικόνα 68: Ενεργός Ισχύς Αεροστροβίλων Λινοπεραμάτων

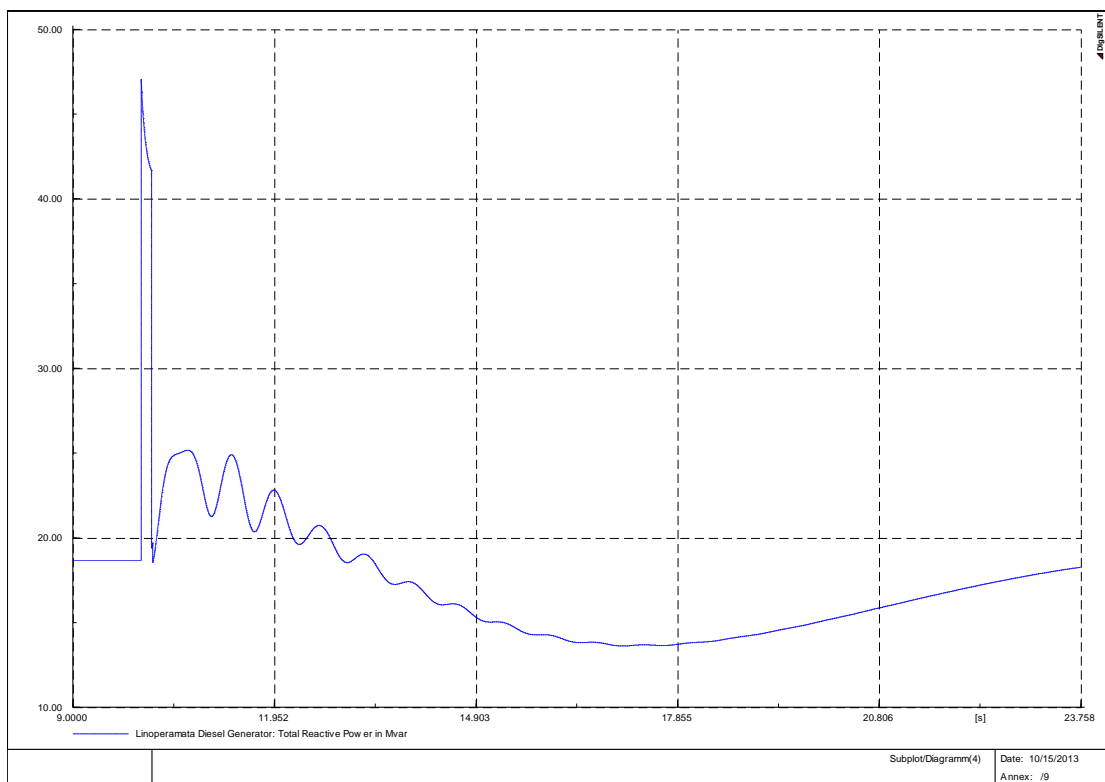


Εικόνα 69: Άεργος Ισχύς Αεροστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

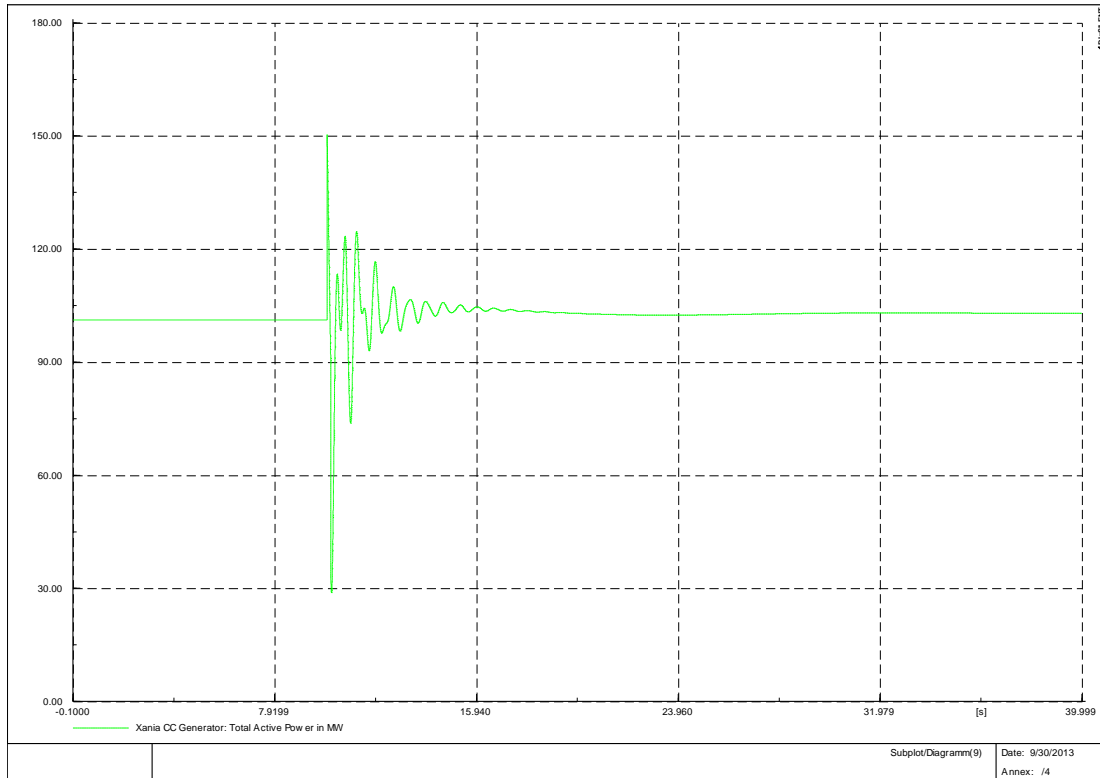


Εικόνα 70: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

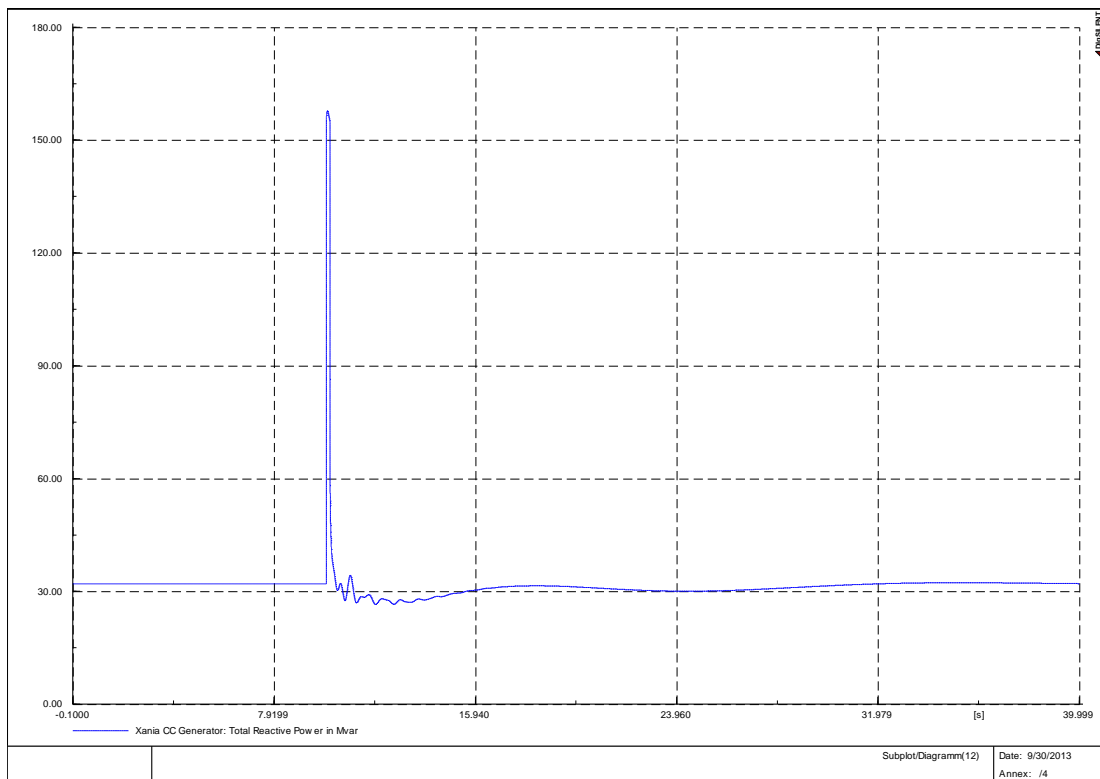


Εικόνα 71: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

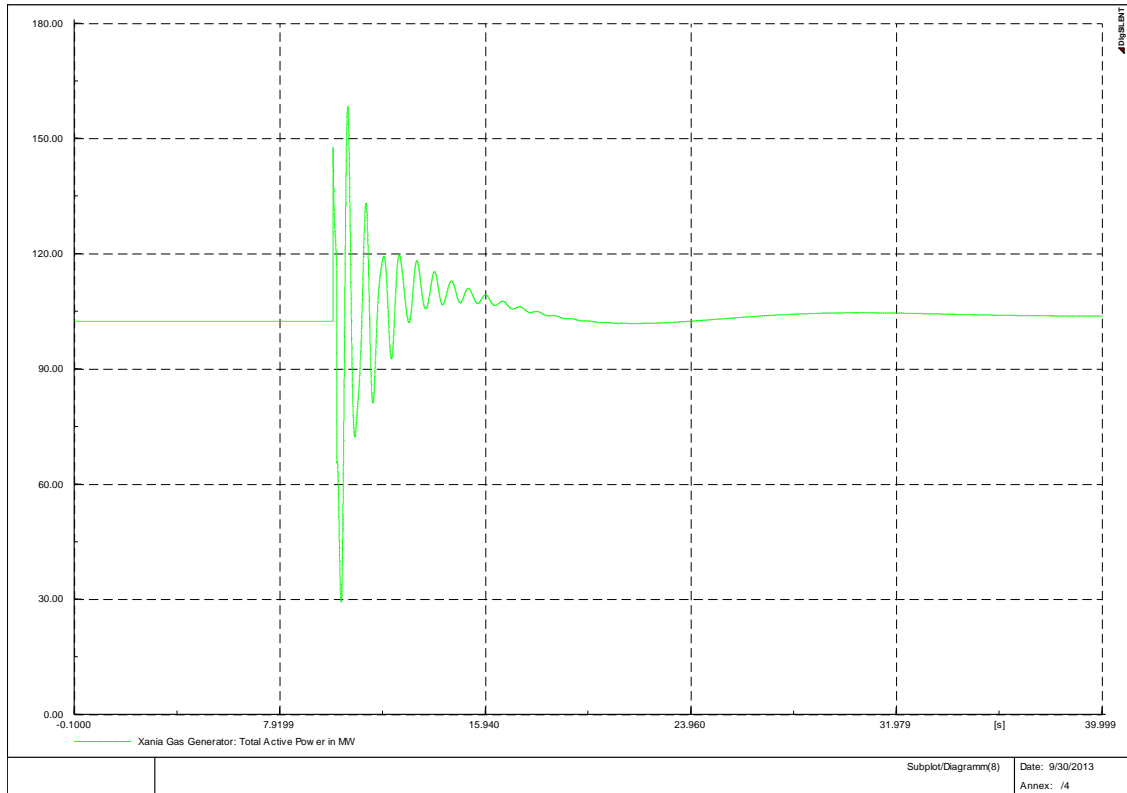


Εικόνα 72: Ενεργός Ισχύς Συνδασμένου Κύκλου Χανίων

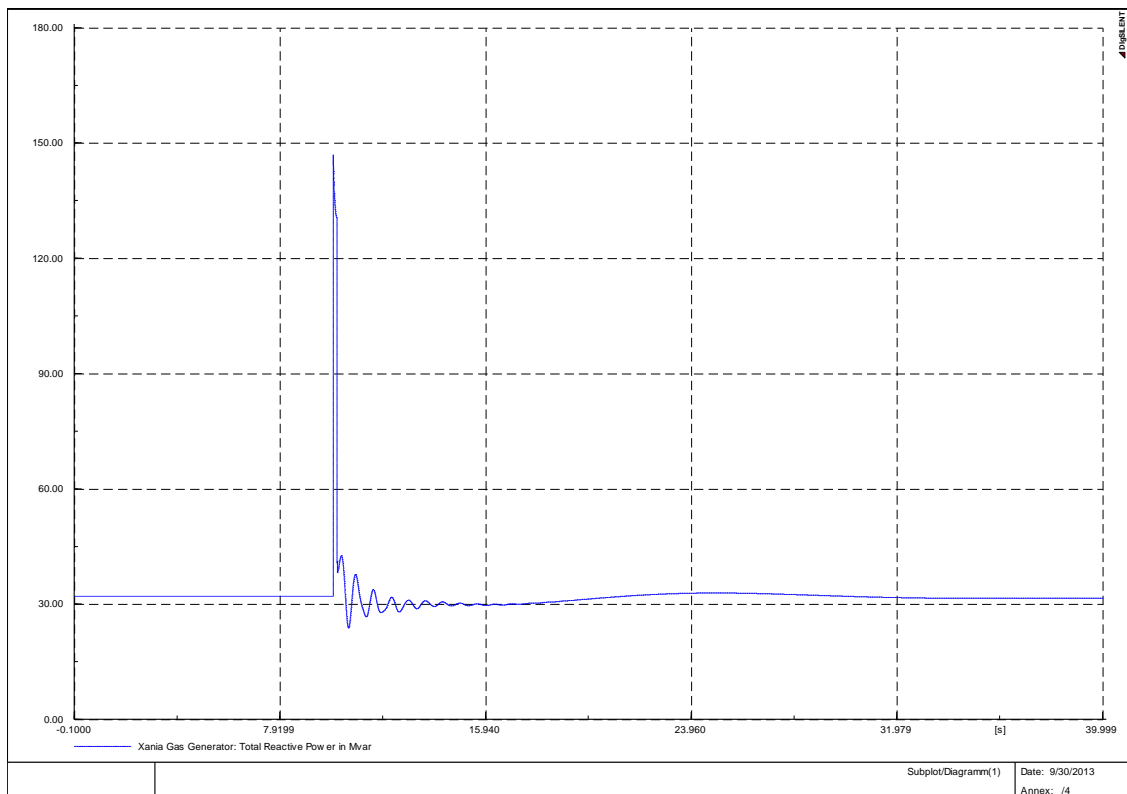


Εικόνα 73: Άεργος Ισχύς Συνδασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

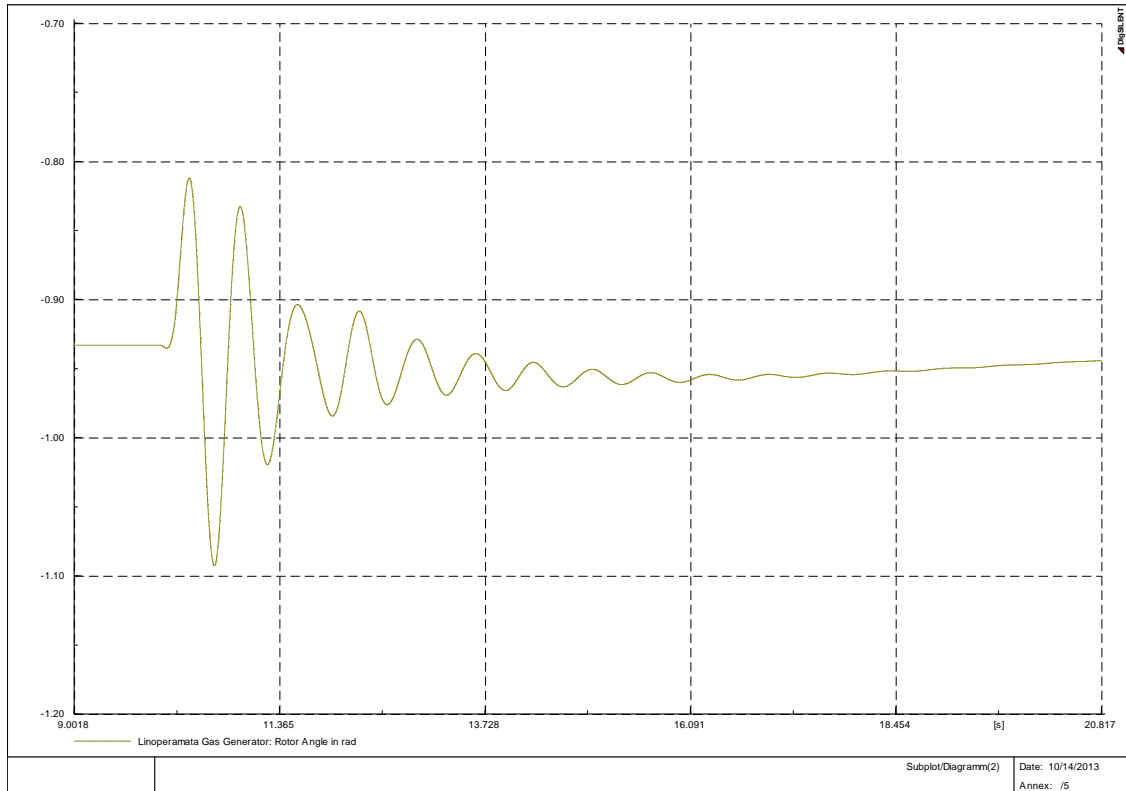


Εικόνα 74: Ενεργός Ισχύς Αεροστροβίλων Χανίων

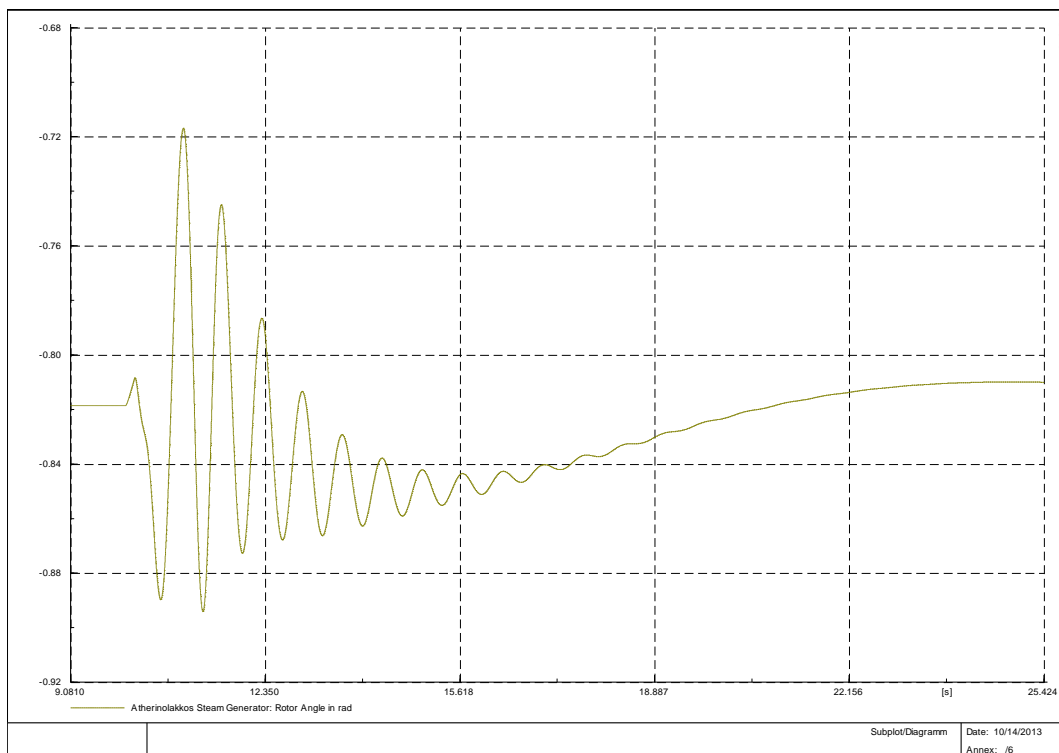


Εικόνα 75: Αεργός Ισχύς Αεροστροβίλων Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

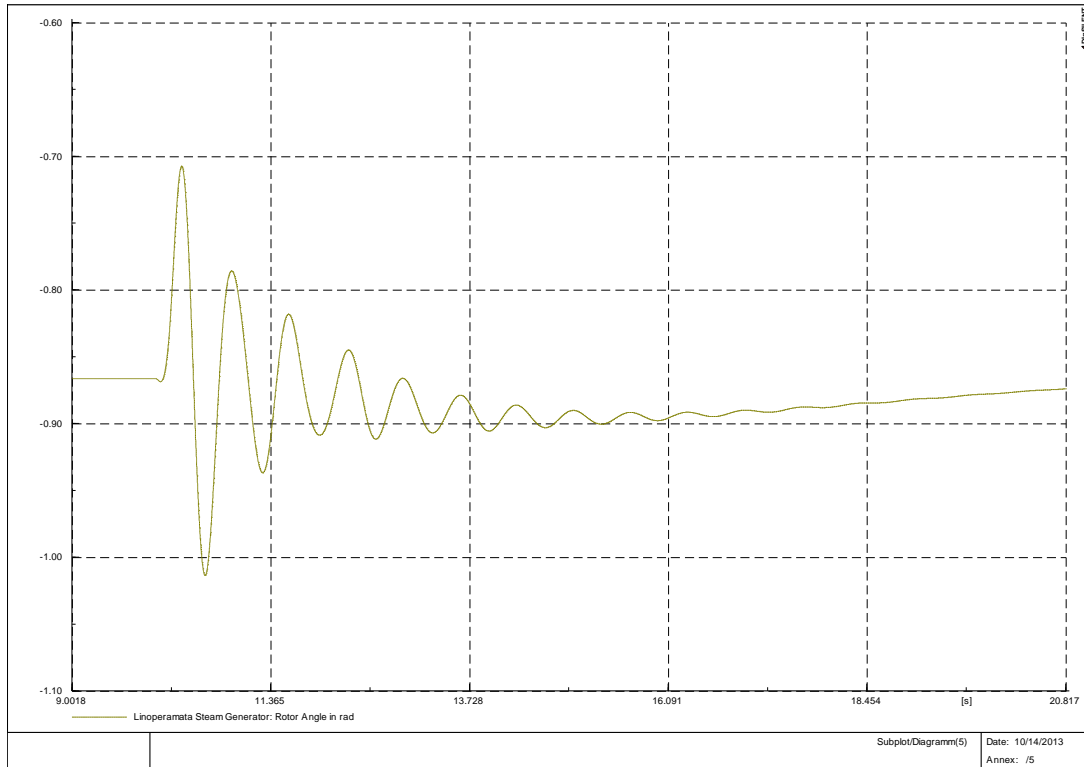


Εικόνα 76: Γωνία Δρομέα Αεροστρόβιλου Λινοπεραμάτων

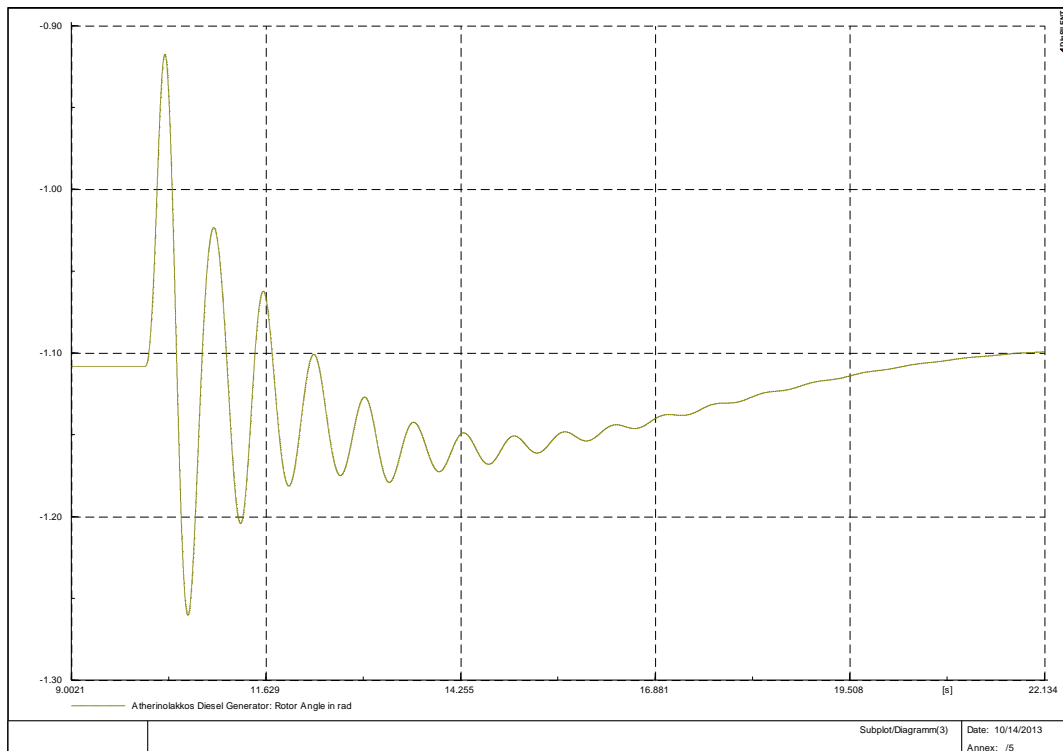


Εικόνα 77: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλου Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

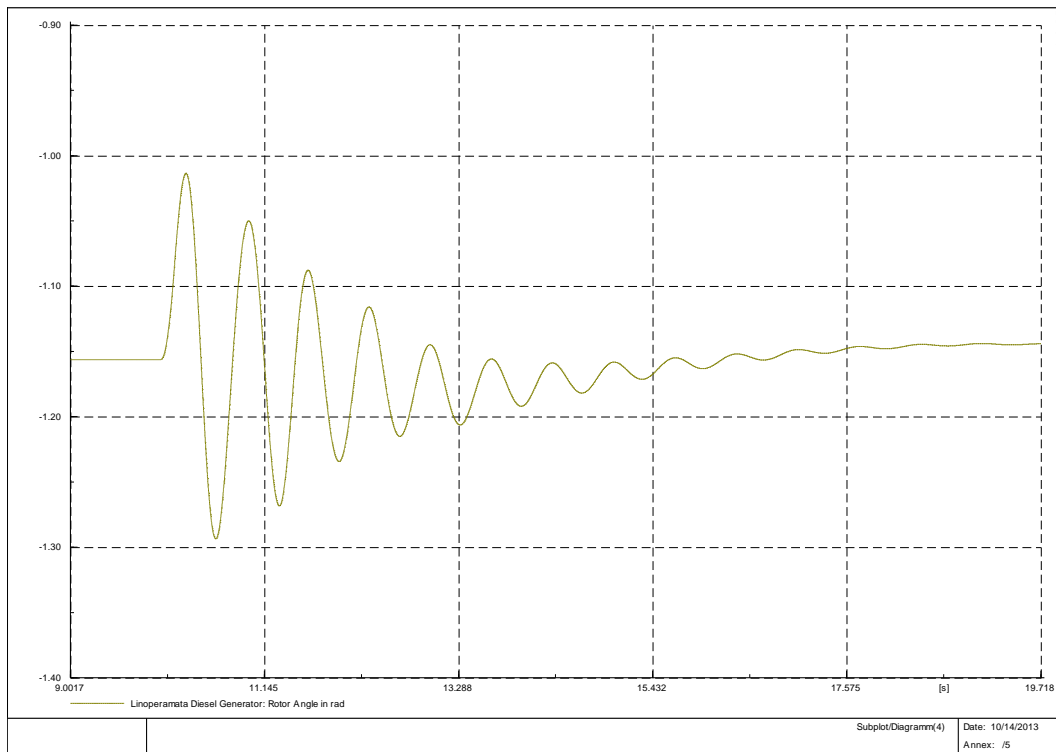


Εικόνα 78: Γωνία Δρομέα Ατμοστροβίλου Λινοπεραμάτων

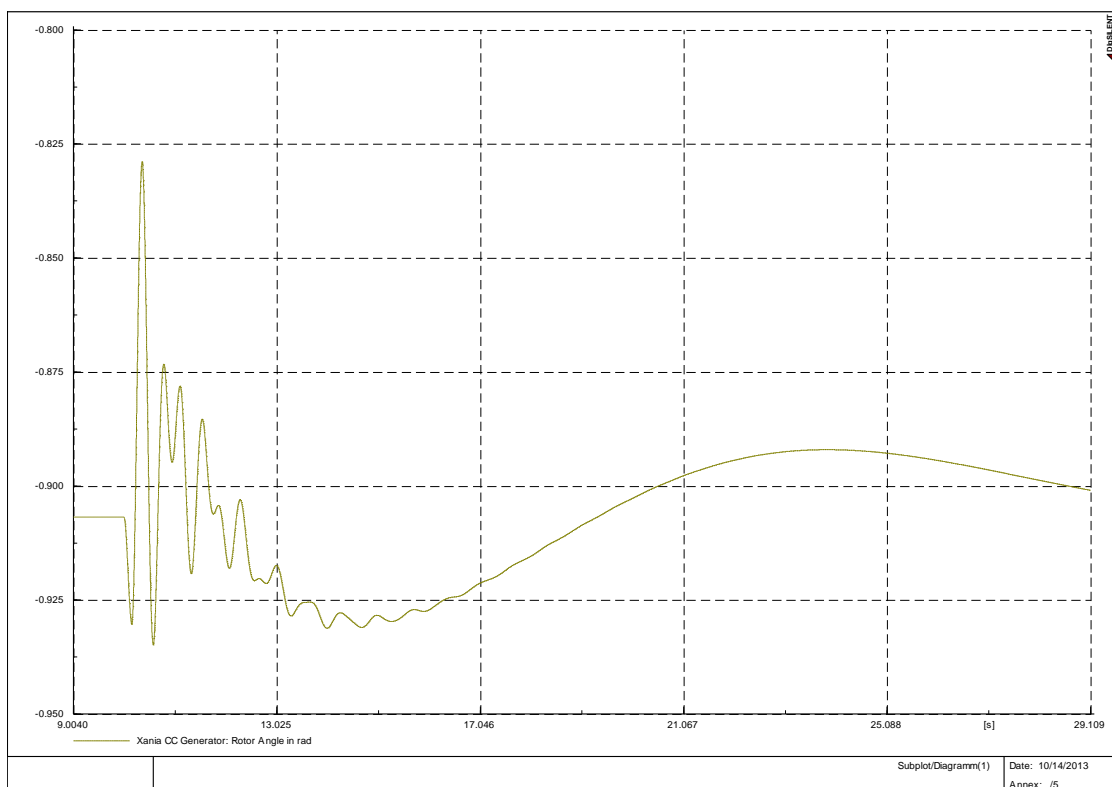


Εικόνα 79: Γωνία Δρομέα Ντηζελογεννήτριας Αθρινολακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 80: Γωνία Δρομέα Ντηζελογεννήτριας Λινοπεραμάτων



Εικόνα 81: Γωνία Δρομέα Συνδεδασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Παρουσιάζονται και οι γωνίες όλων των γεννητριών για να φανεί η αστάθεια που προκαλεί το βραχυκύκλωμα όχι μόνο στο σύστημα αλλά και στο εσωτερικό των μηχανών.

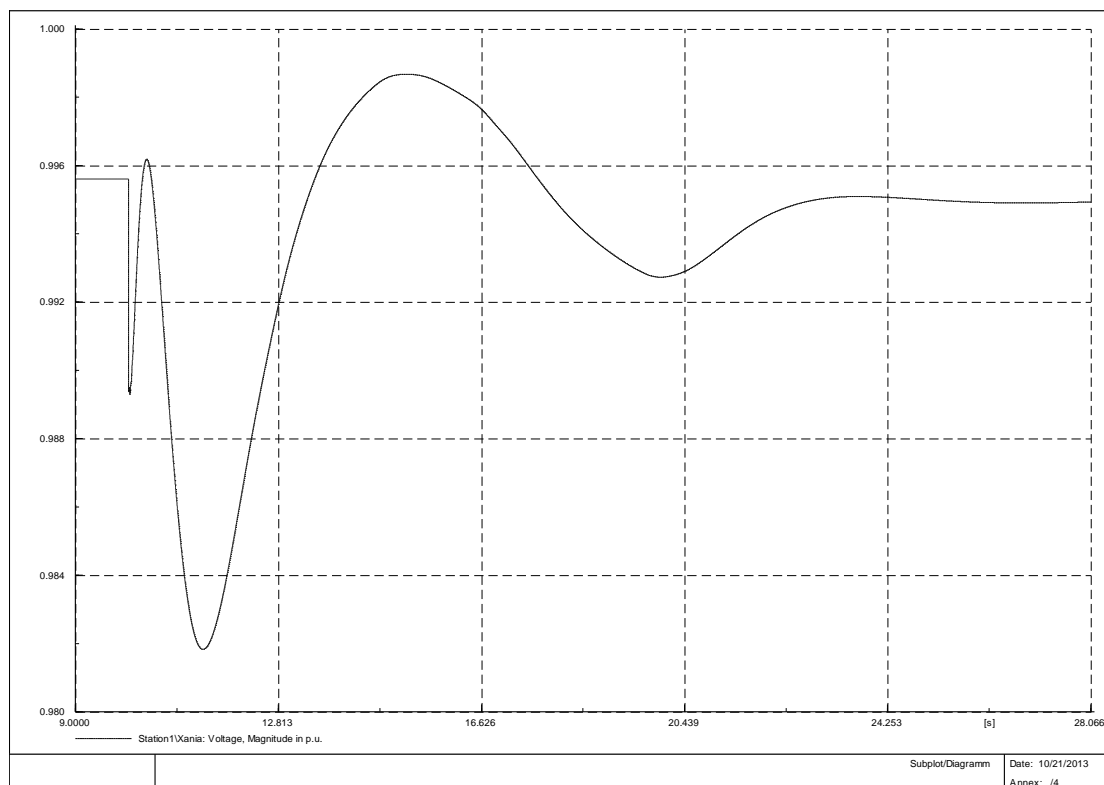
Το σύστημα αντιδρά καλά στην περίπτωση βραχυκυκλώματος στο συγκεκριμένο ζυγό, με τις τάσεις στους υπόλοιπους ζυγούς και τη συχνότητα του συστήματος να επανέρχονται στις αρχικές τους τιμές. Η στιγμιαία πτώση των τάσεων είναι μεγάλη, ακόμη και στο 0,5 αμ στη Σταλίδα. Δεδομένης, όμως, της πολύ μικρής διάρκειας του βραχυκυκλώματος και της φύσης του σφάλματος, η πτώση θεωρείται αποδεκτή εφόσον τα μεγέθη επανέρχονται στις προηγούμενες φυσιολογικές τιμές τους. Η συχνότητα παρατηρούμε πως επηρεάζεται ελάχιστα, χάνοντας μόλις 0,003 αμ (0,15 Hz).

Η επαναφορά στη ευστάθεια φαίνεται και από τις παραγωγές των σταθμών. Με την εξαίρεση τις ανεμογεννήτριες στη Σητεία, οι οποίες φυσικά λόγω του βραχυκυκλώματος τίθενται εκτός από το κύκλωμα προστασίας, όλες οι υπόλοιπες μονάδες λειτουργούν κανονικά. Τα 8 MW που παρήγαγε η Σητεία τα αναλαμβάνουν οι υπόλοιποι σταθμοί.

6.1.2 Σενάριο 2

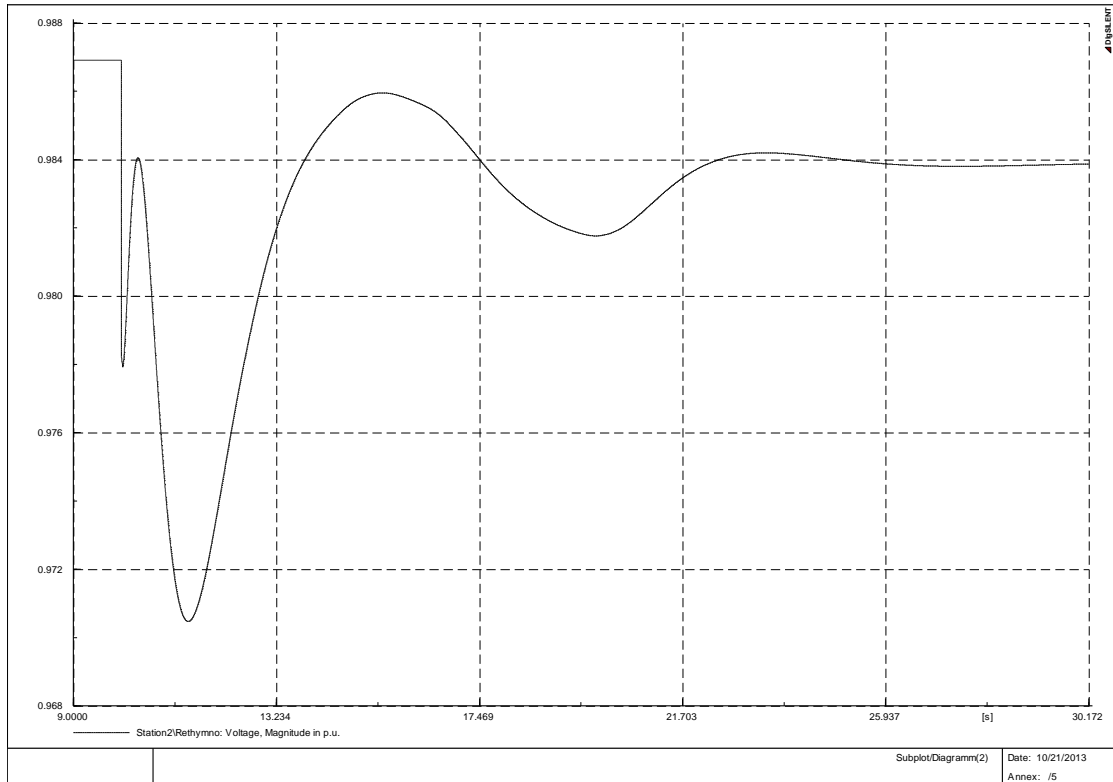
Διαταραχή 1: Απώλεια Μονάδας αμμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

Εδώ η μεγαλύτερη μονάδα σε παραγωγή είναι η μονάδα των αμμοστροβίλων στα Λινοπεράματα, η οποία και βγαίνει εκτός λειτουργίας.

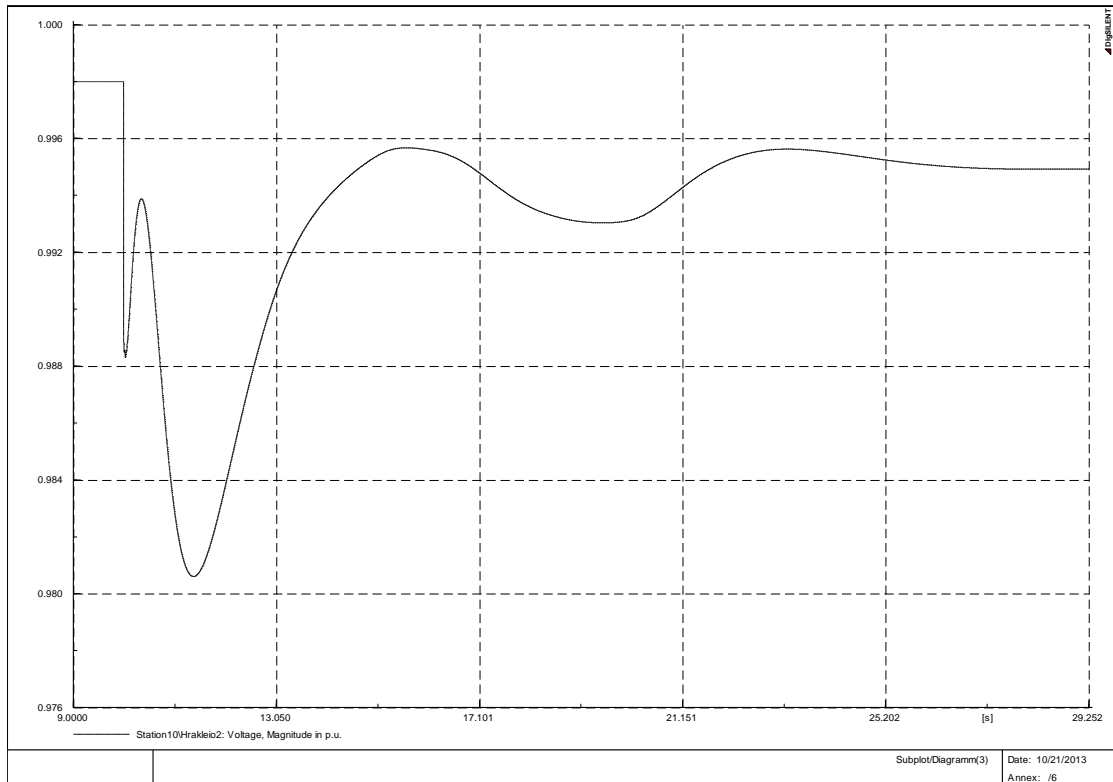


Εικόνα 82: Τάση Ζυγού Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

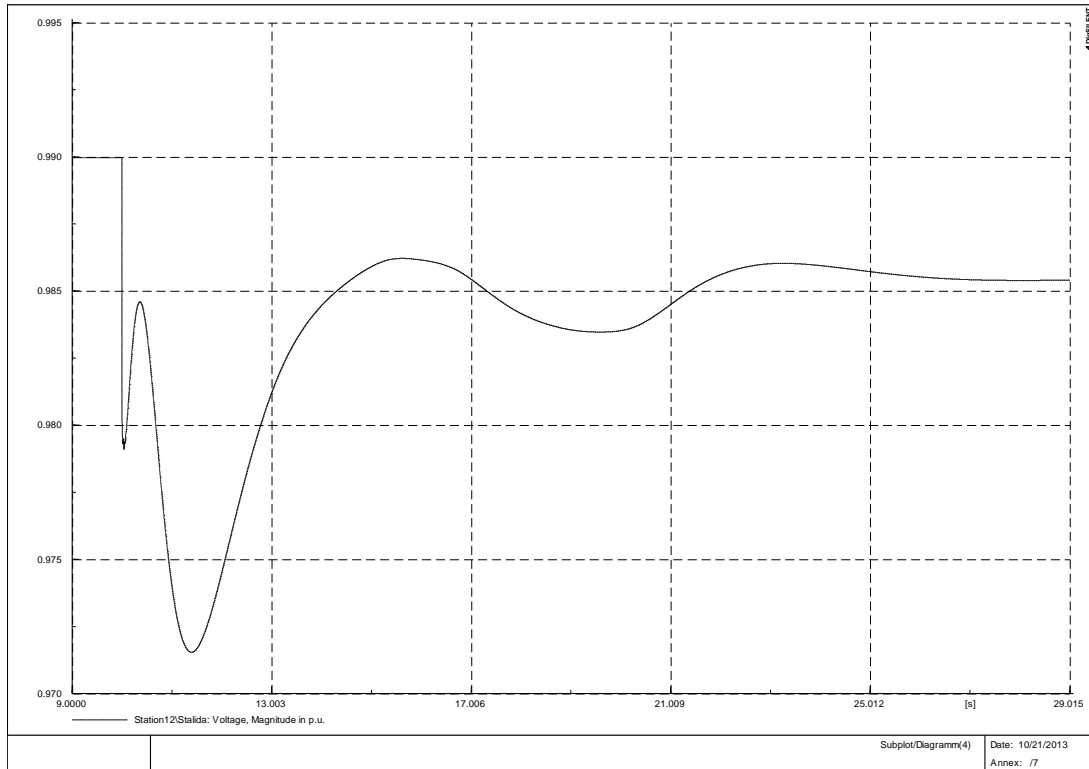


Εικόνα 83: Τάση Ζυγού Ρεθύμνου

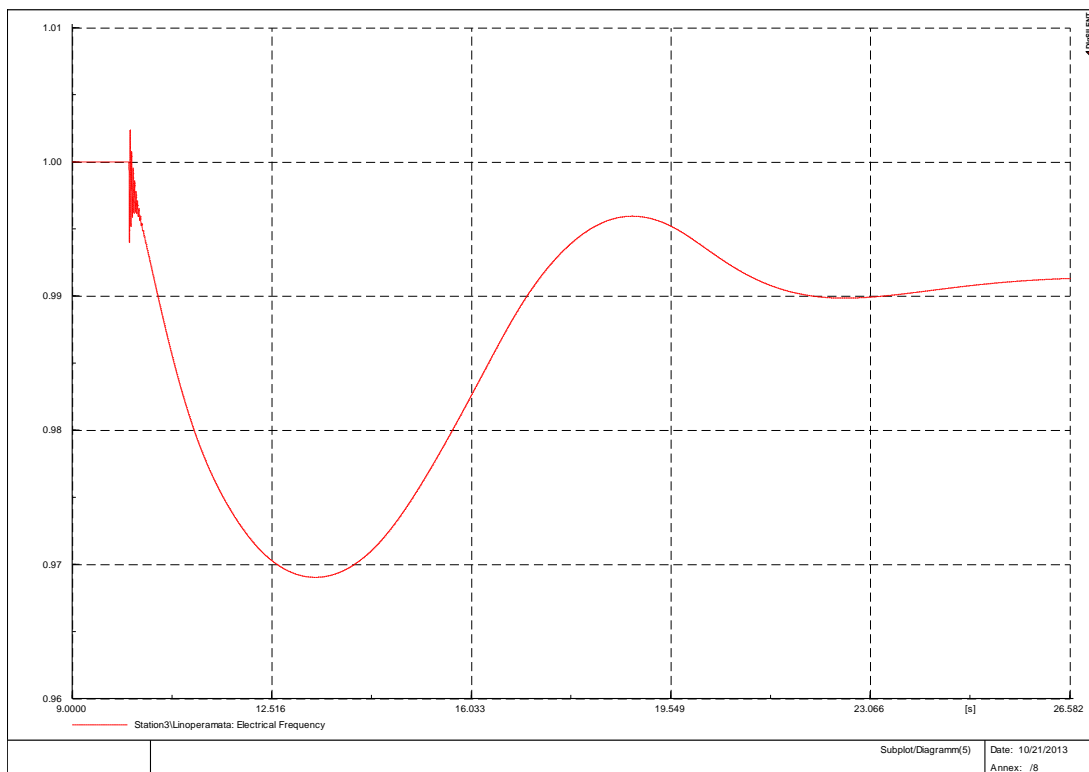


Εικόνα 84: Τάση Ζυγού Ηράκλειο II

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

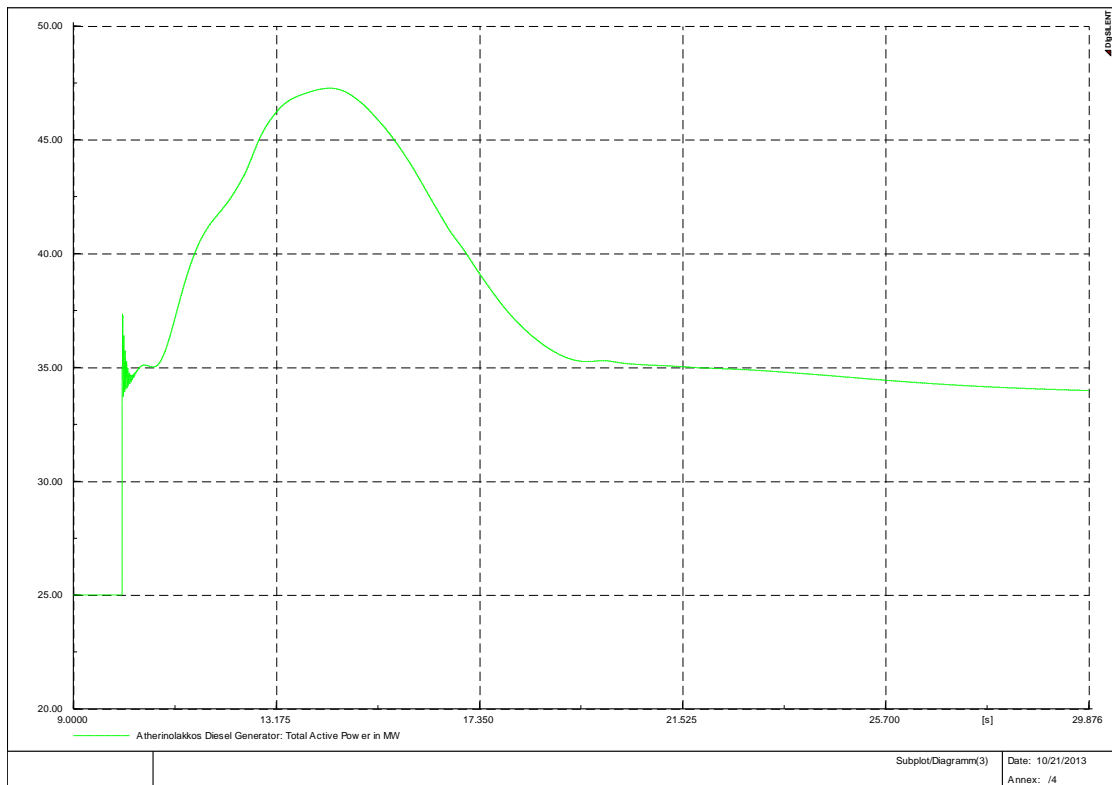


Εικόνα 85: Τάση Ζυγού Σταλίδας

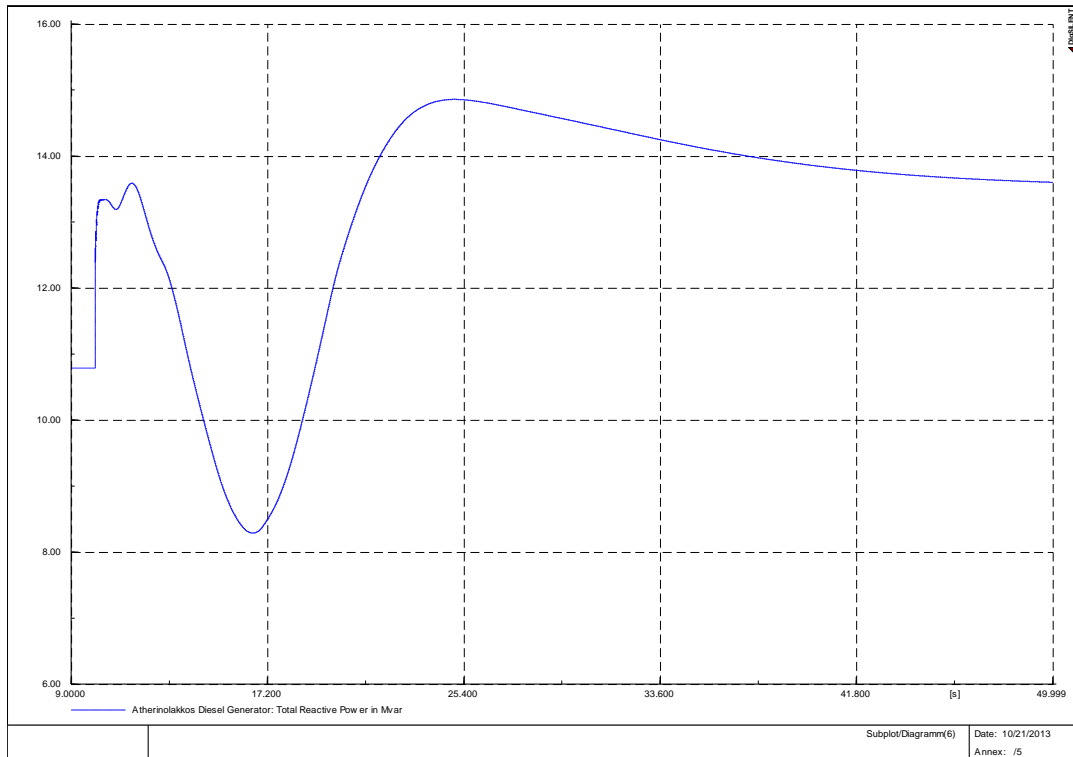


Εικόνα 86: Συχνότητα Συστήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

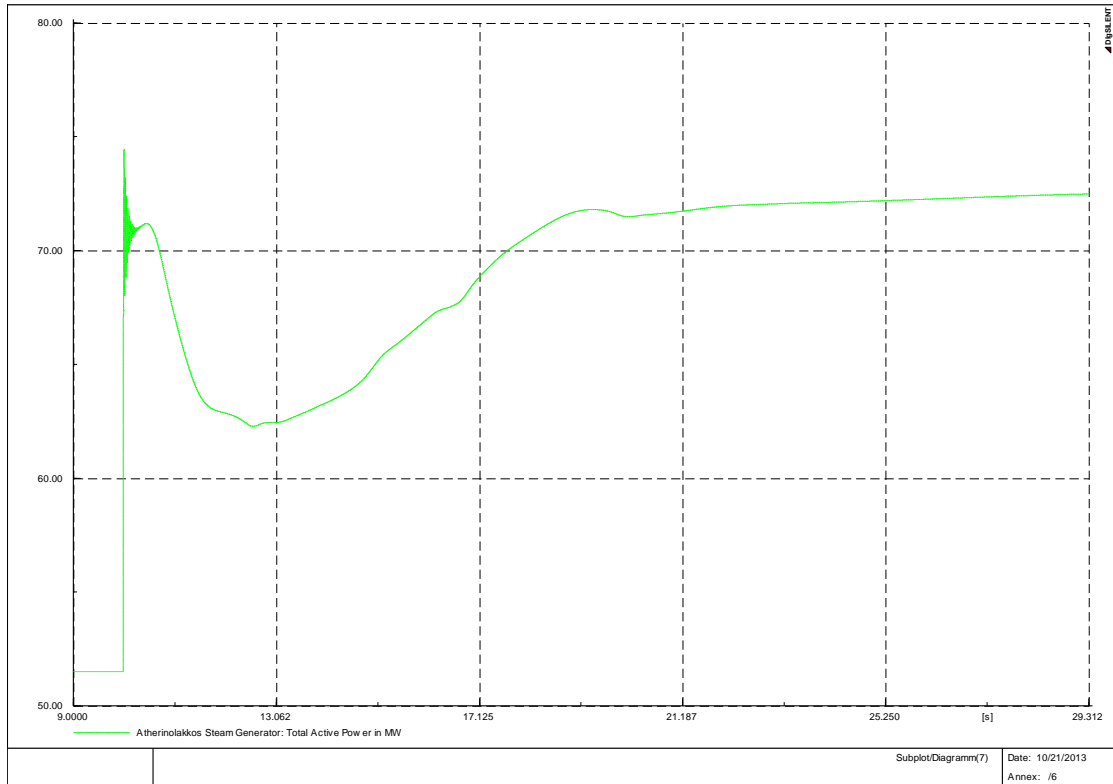


Εικόνα 87: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθρινόλακκου

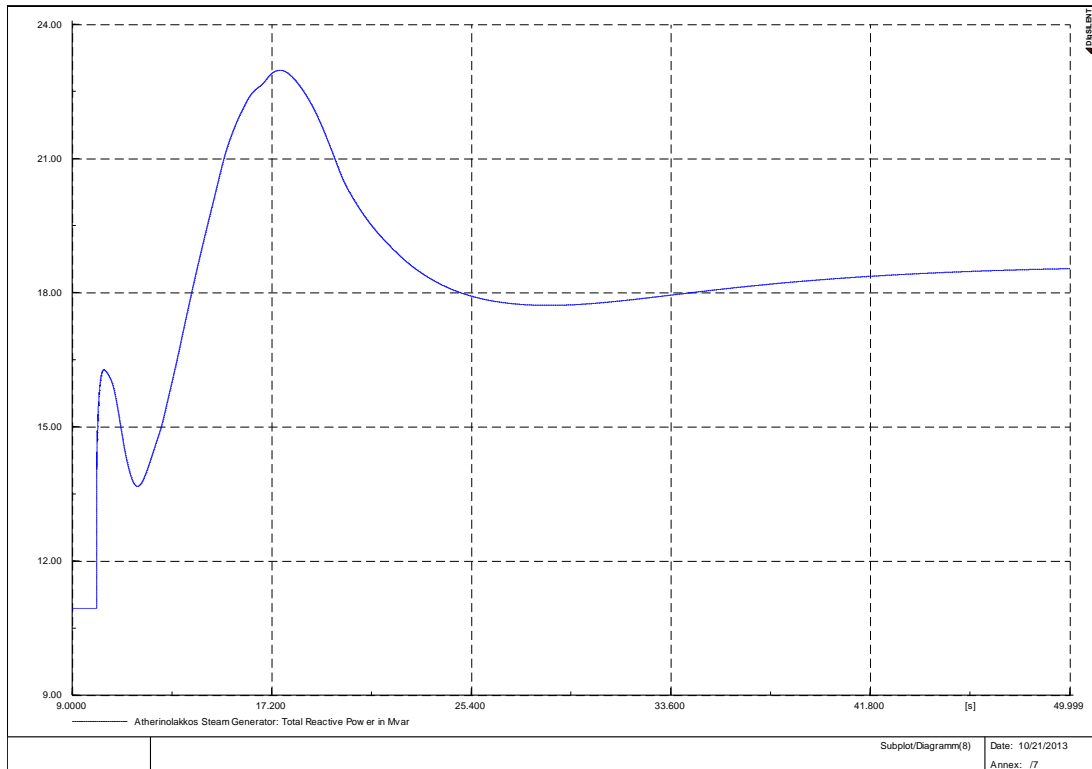


Εικόνα 88: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθρινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

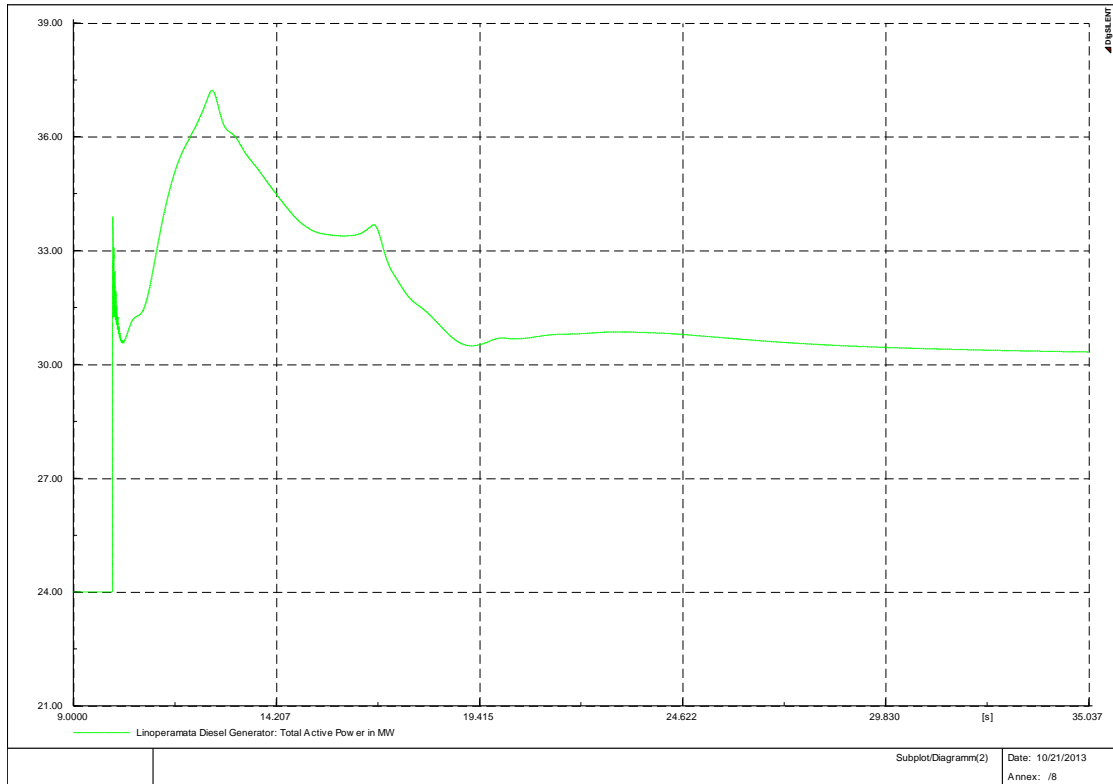


Εικόνα 89: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

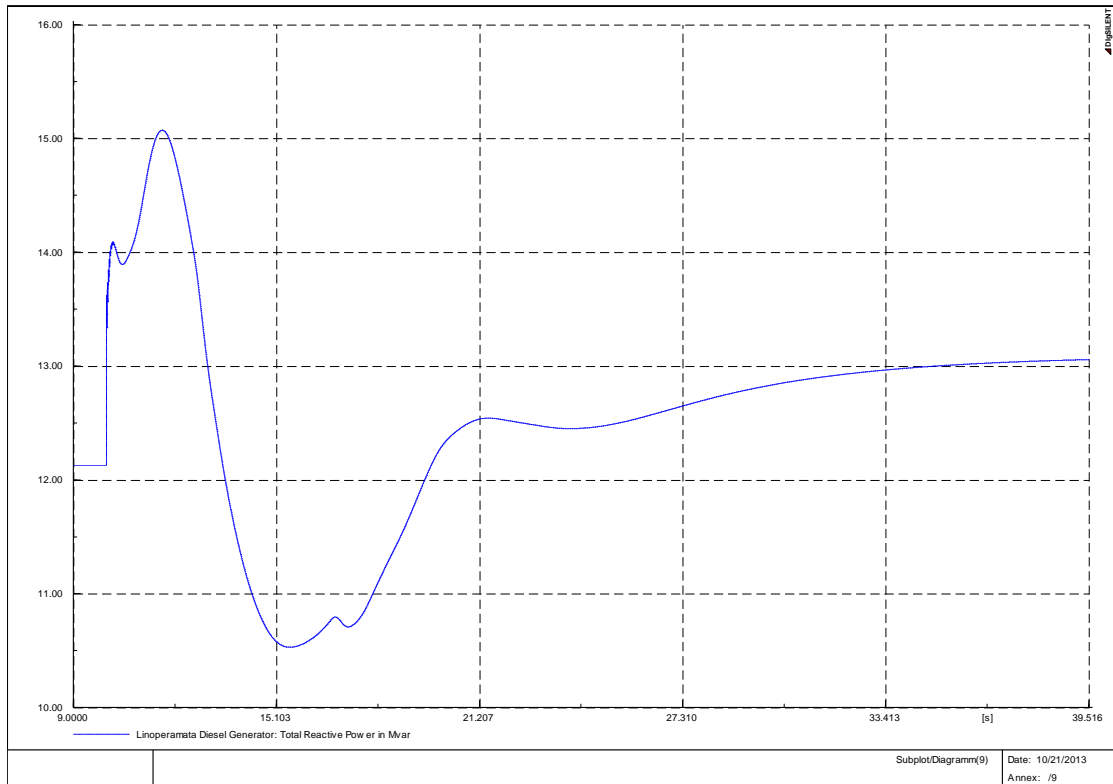


Εικόνα 90: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

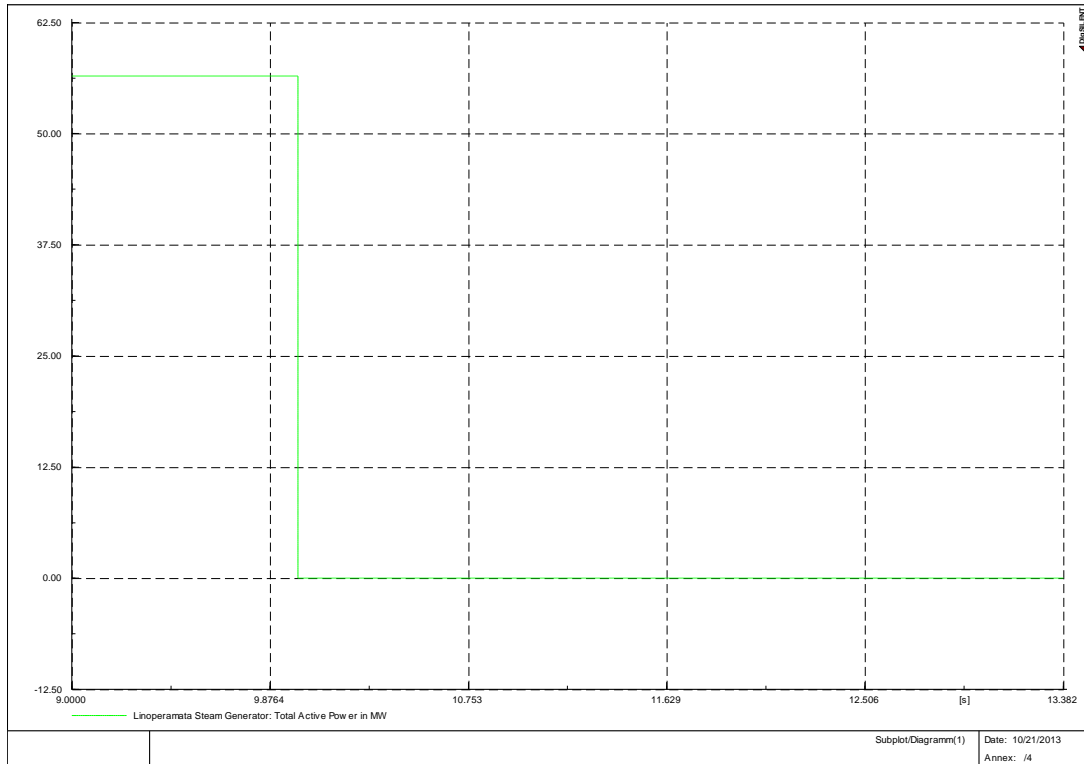


Εικόνα 91: Ενεργός Ισχύς Ντιζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

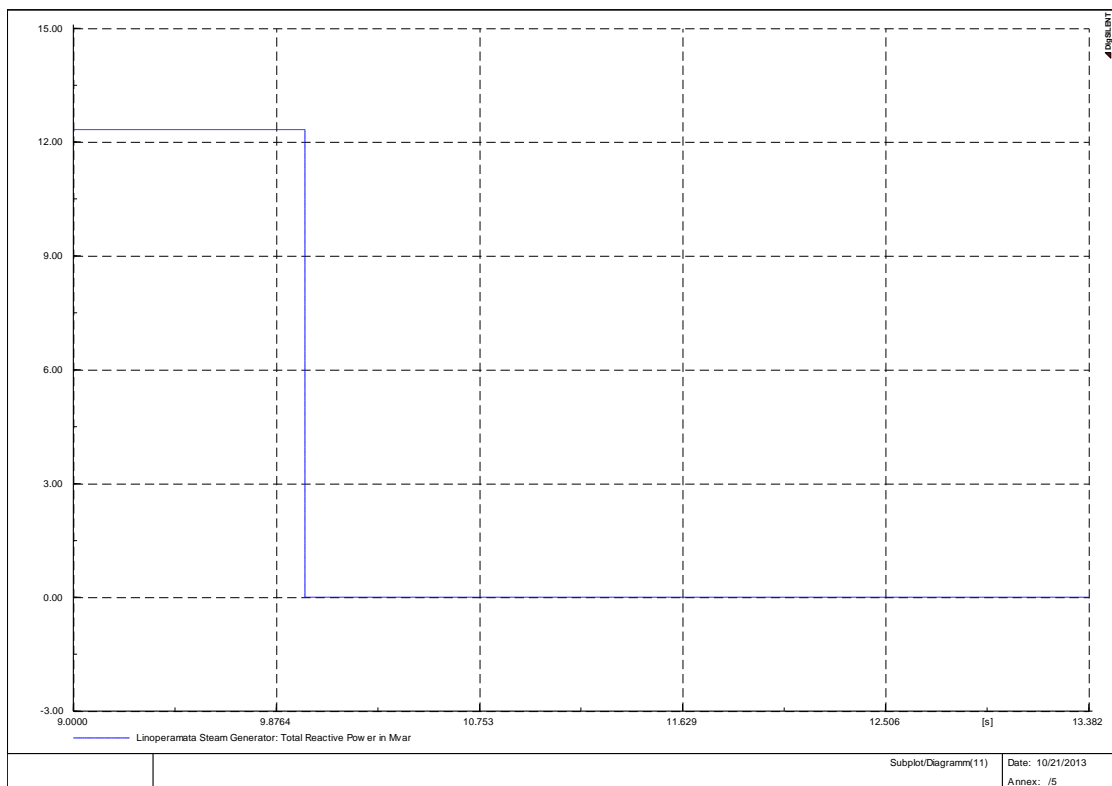


Εικόνα 92: Άεργος Ισχύς Ντιζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

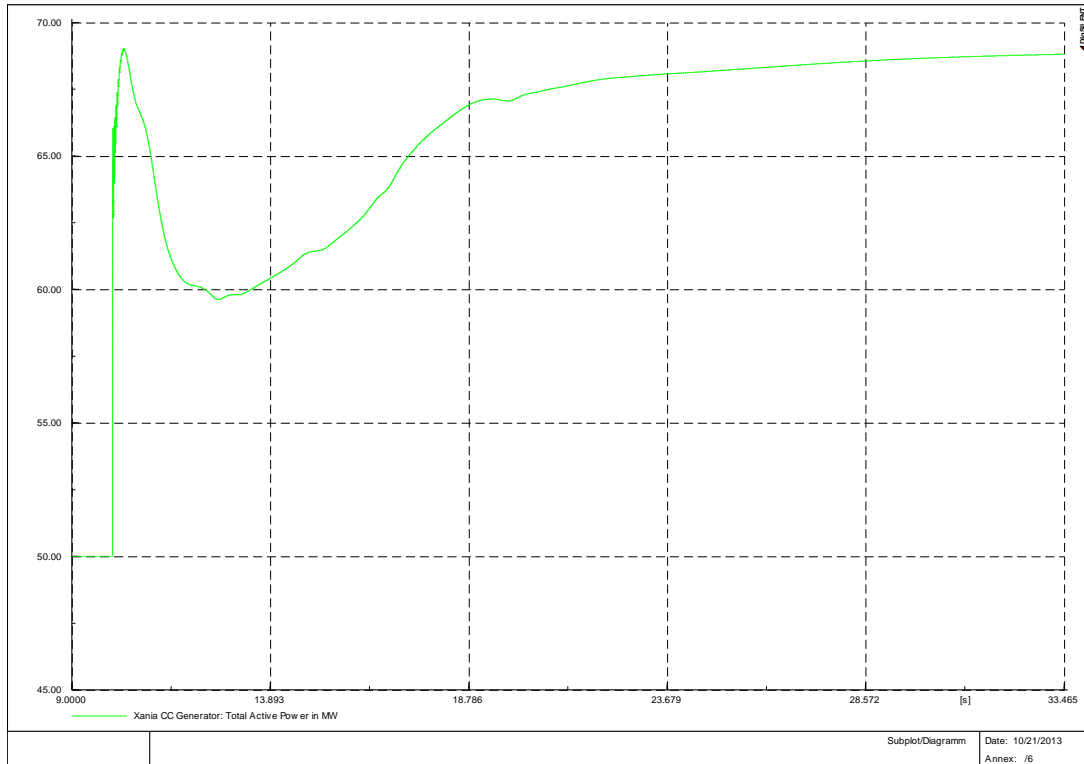


Εικόνα 93: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

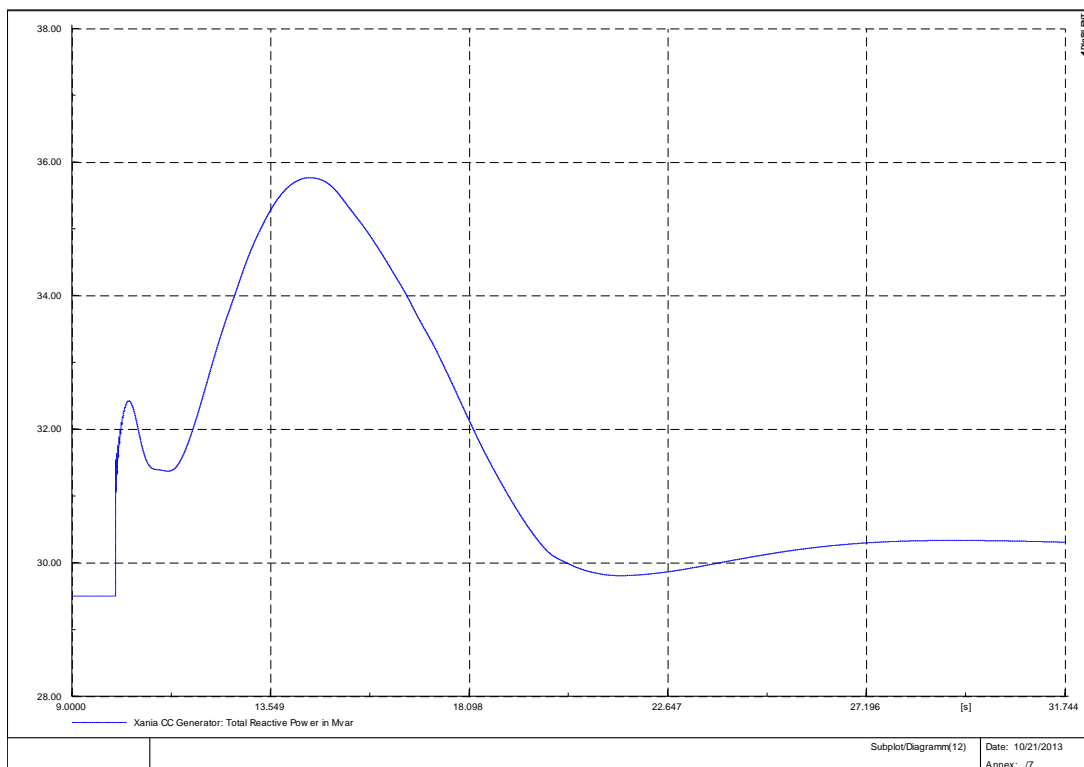


Εικόνα 94: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 95: Ενεργός Ισχύς Συνδασμένου Κύκλου Χανίων

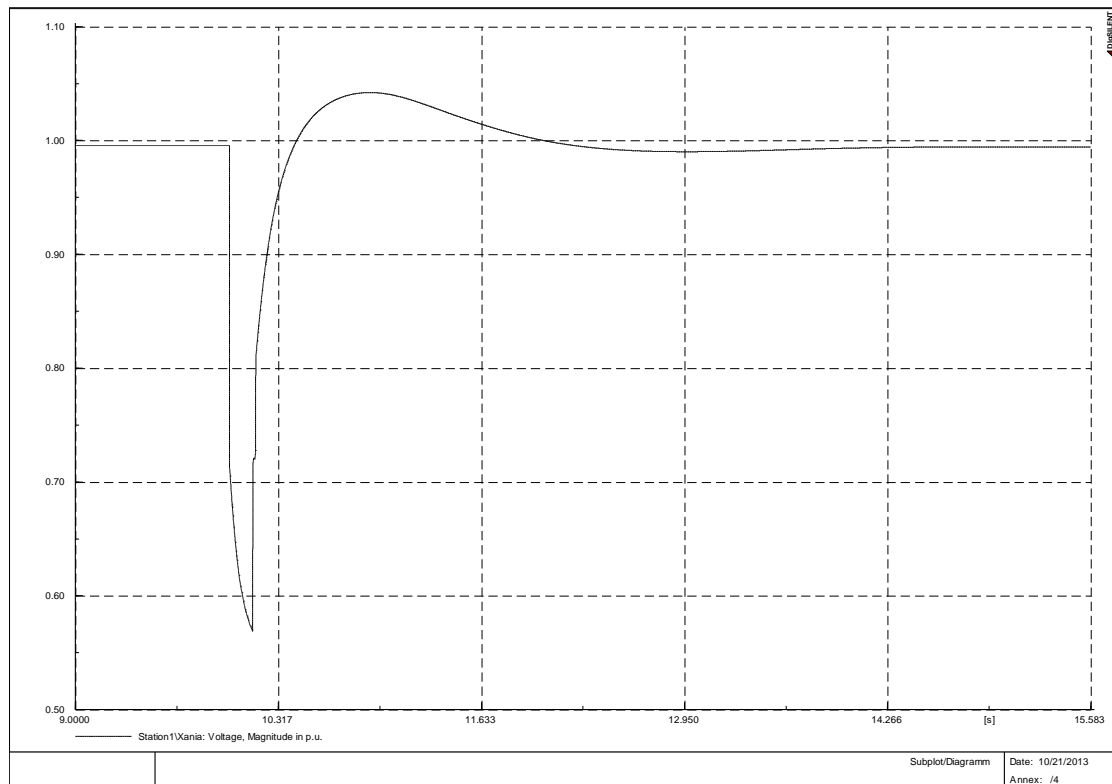


Εικόνα 96: Άεργος Ισχύς Συνδασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

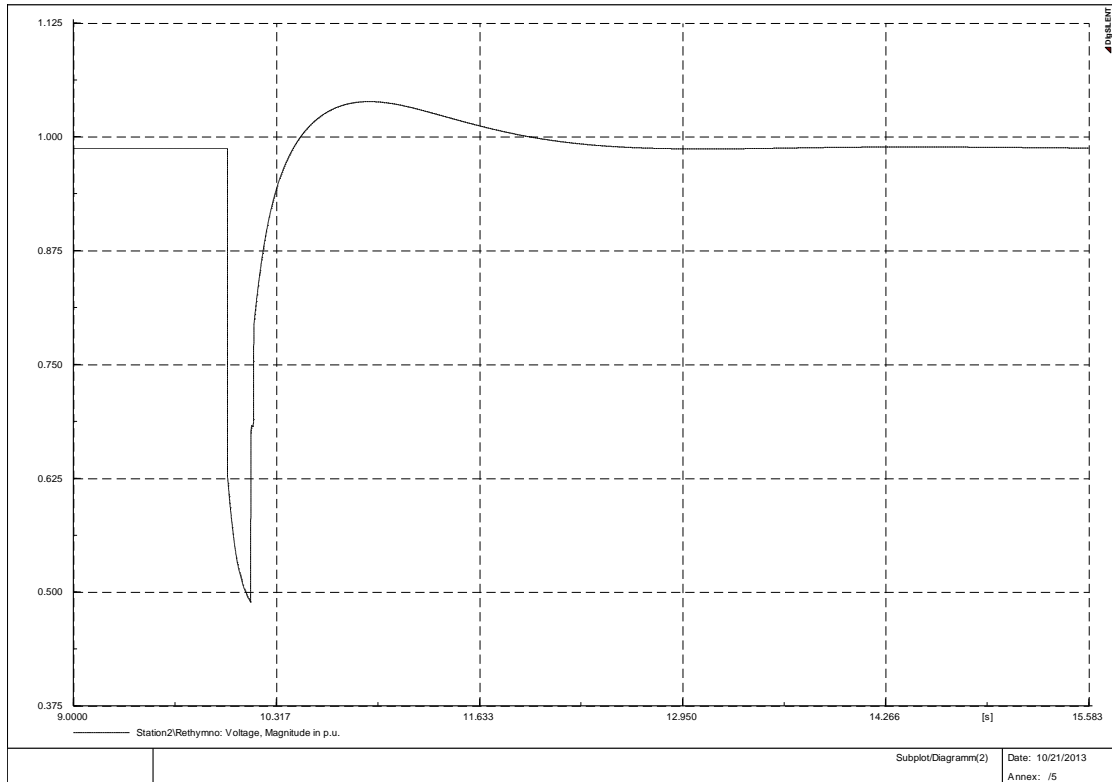
Εδώ το σύστημα καταφέρνει να μην καταρρεύσει εντελώς, αν και η συχνότητα ξεπερνάει το όριο των 49 Hz που υποτίθεται πως πρέπει να τηρείται το 95% του χρόνου μιας εβδομάδας και φτάνει μέχρι και λίγο πιο κάτω από τα 48,5 Hz. Ο χρόνος κατά τον οποίο βρίσκεται κάτω από τα 49 Hz (0,98 αμ) είναι βέβαια λίγα δευτερόλεπτα και δε συγκρίνεται με το όριο του 5% της εβδομάδας. Αν η λειτουργία αυτή είναι αποδεκτή ή όχι εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό και τη σοβαρότητα των σφαλμάτων που συμβαίνουν ανά εβδομάδα. Όπως και να έχει, η συχνότητα βρίσκεται για πολύ μικρό χρόνο κάτω από το όριο των 49 Hz και είναι λογικό να υποθέσουμε πως δε συμβάλλει σημαντικά στην συμπλήρωση του 5% της εβδομάδας κατά την οποία η συχνότητα είναι κάτω από το όριο αυτό.

Διαταραχή 2: Βραχυκύκλωμα στο ζυγό της Σητείας

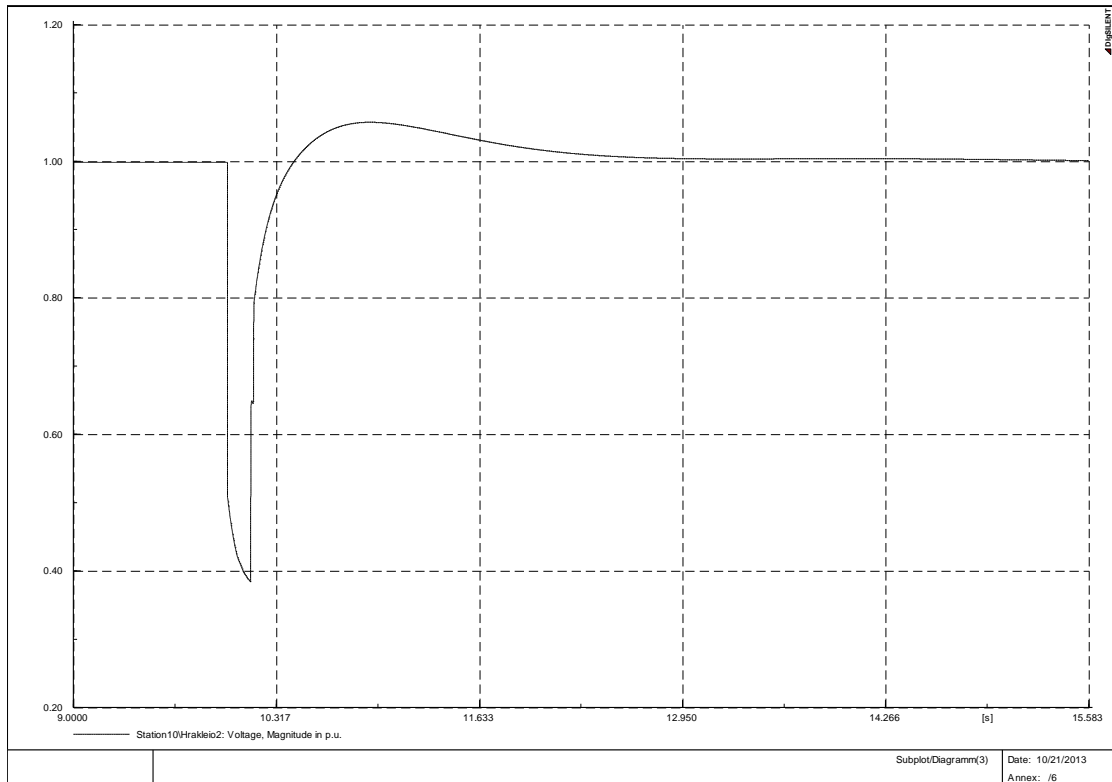


Εικόνα 97: Τάση Ζυγού Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

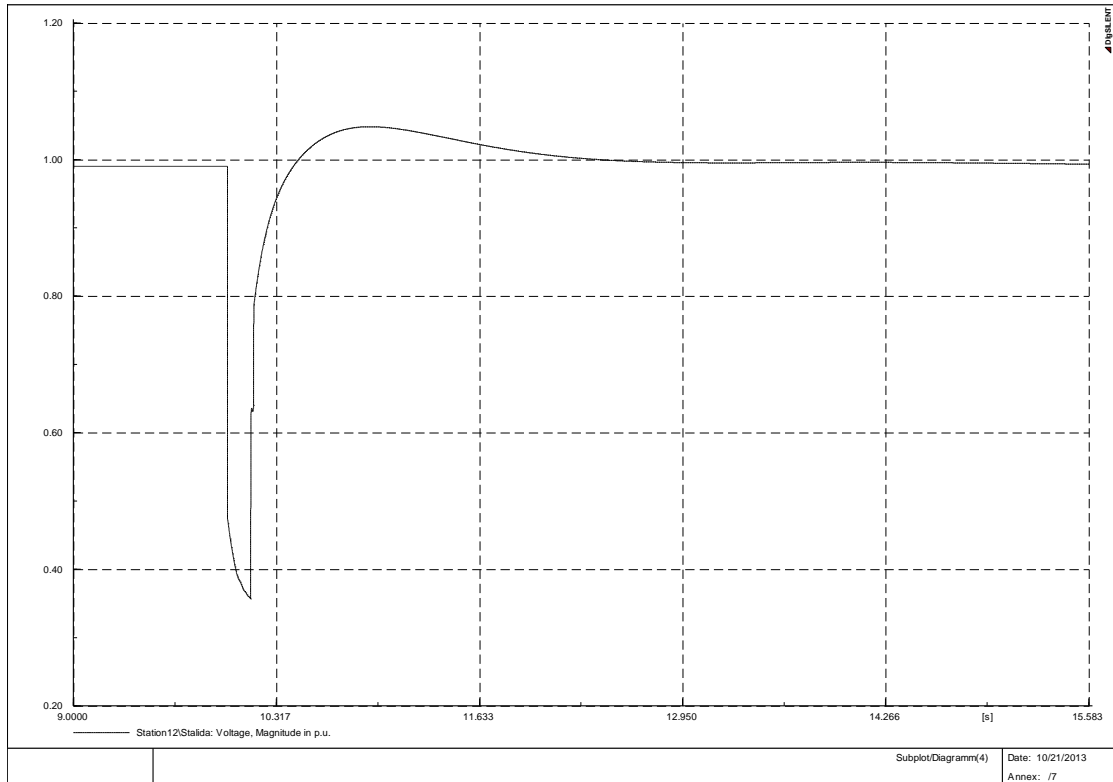


Εικόνα 98: Τάση Ζυγού Ρεθύμνου

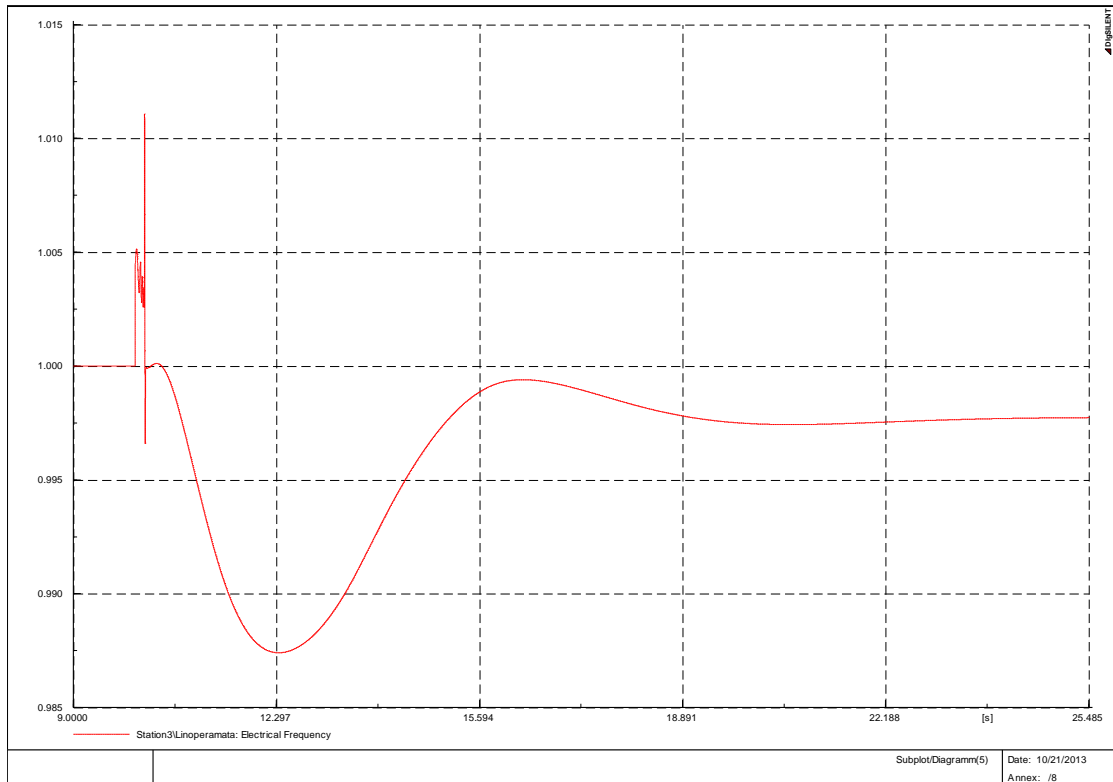


Εικόνα 99: Τάση Ζυγού Ηράκλειο II

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

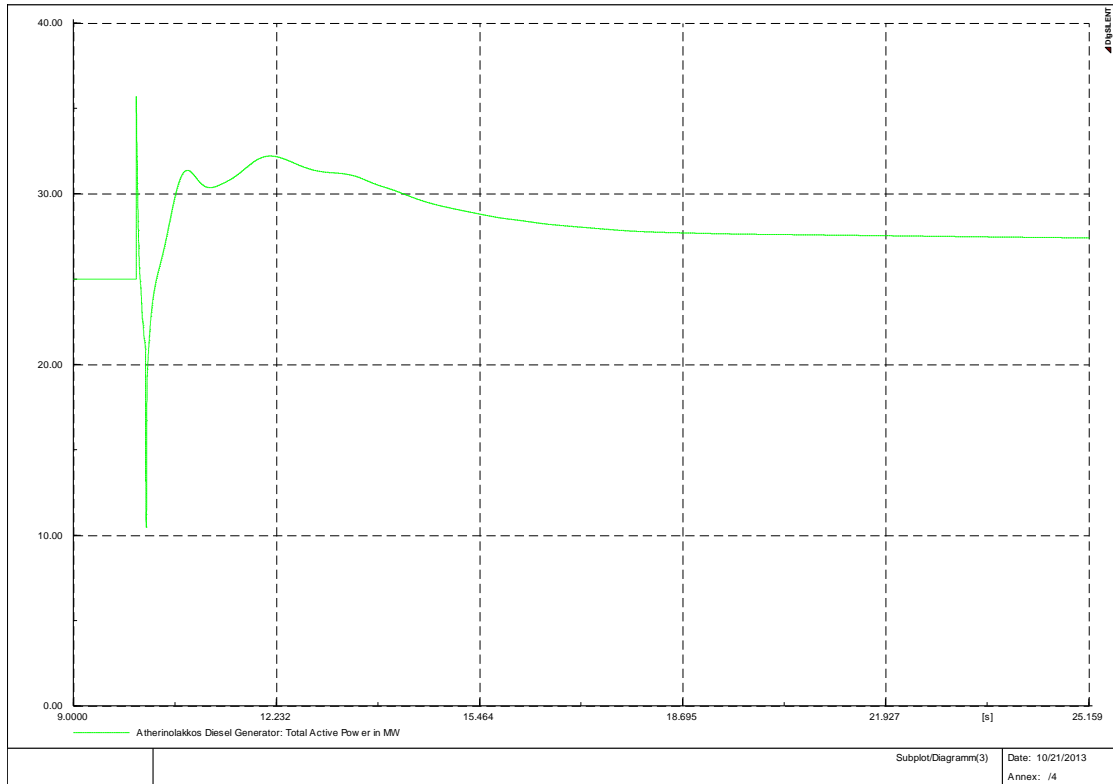


Εικόνα 100: Τάση Ζυγού Σταλίδας

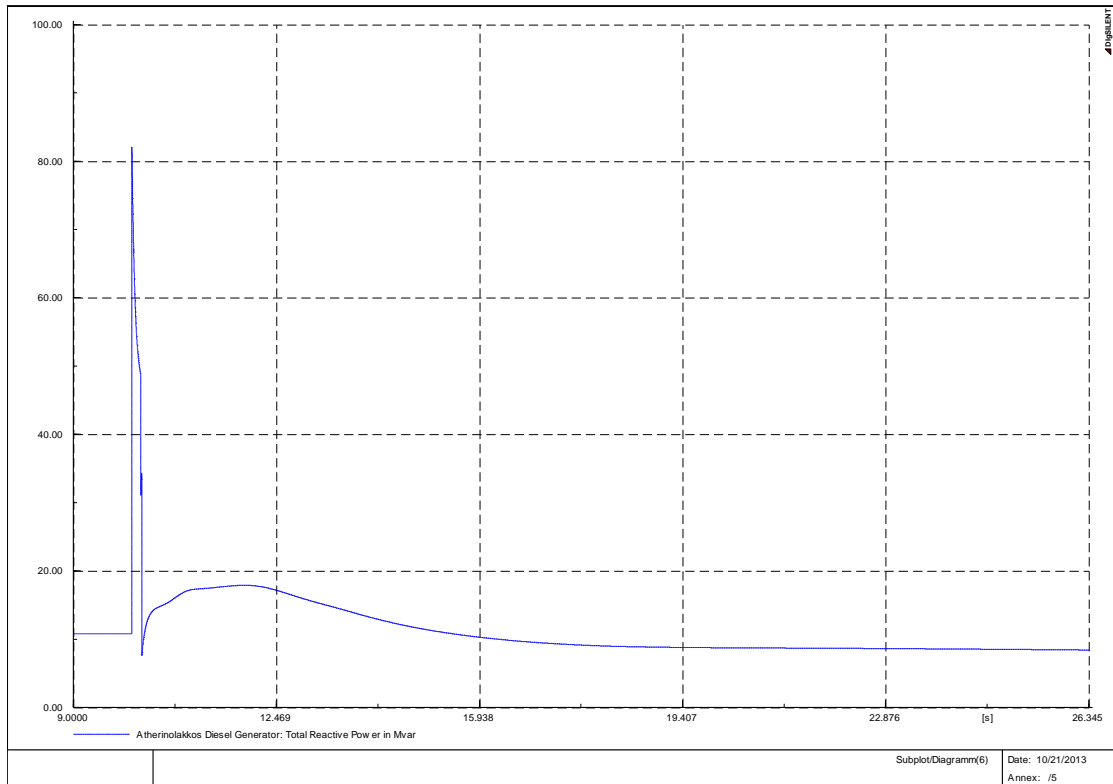


Εικόνα 101: Συχνότητα Συστήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

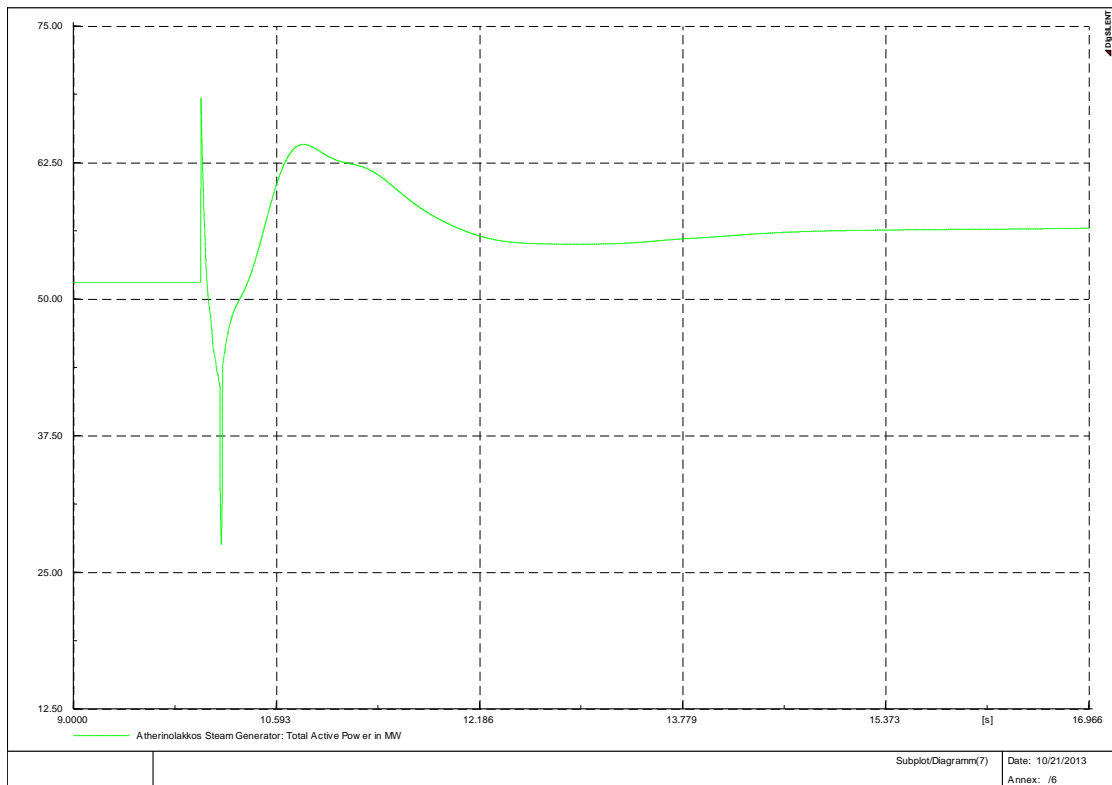


Εικόνα 102: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθρινόλακκου

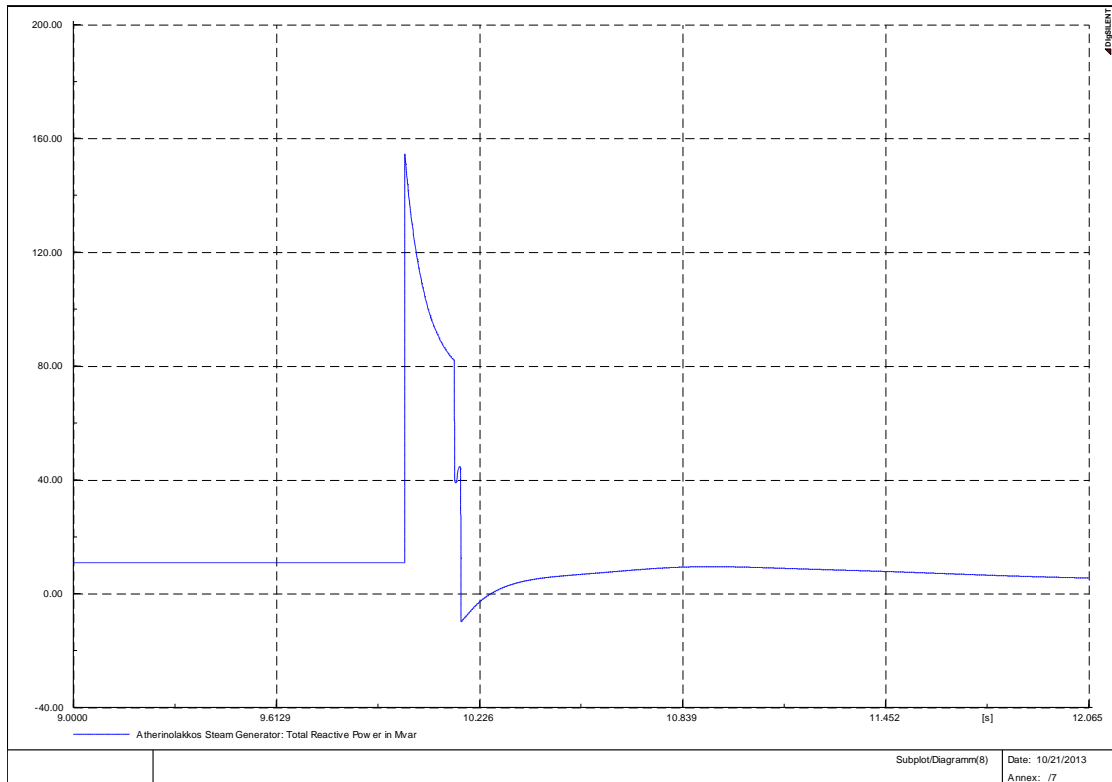


Εικόνα 103: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθρινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

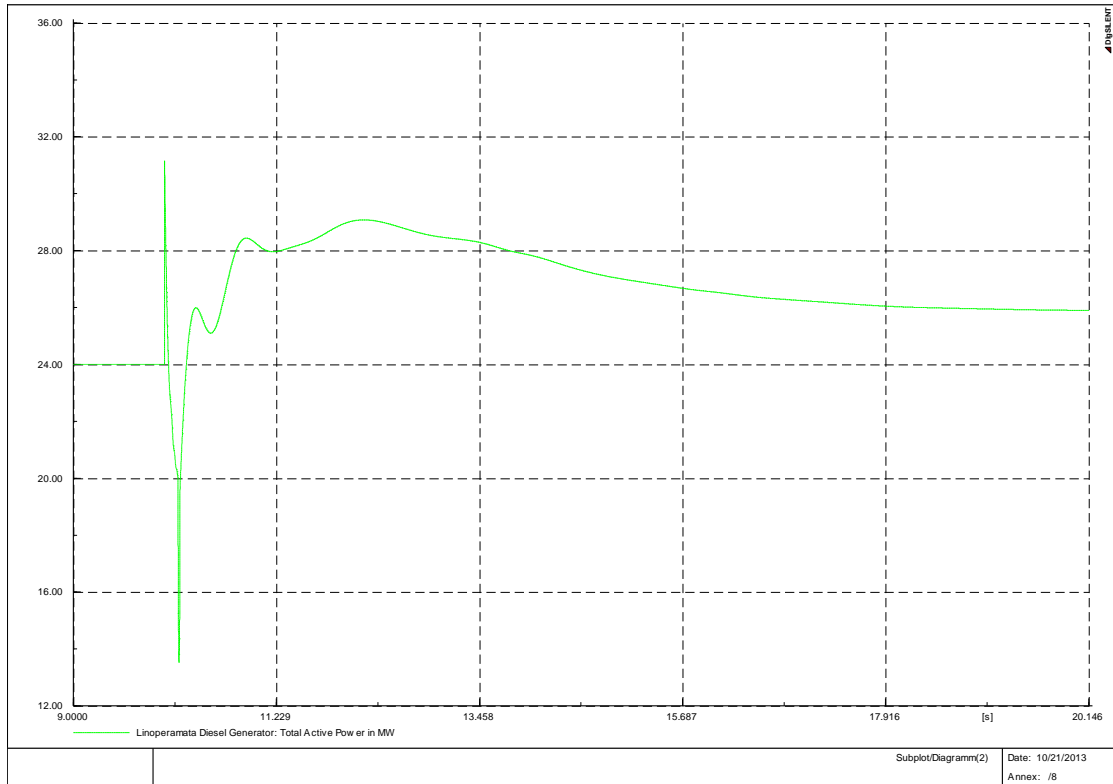


Εικόνα 104: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθρινόλακκου

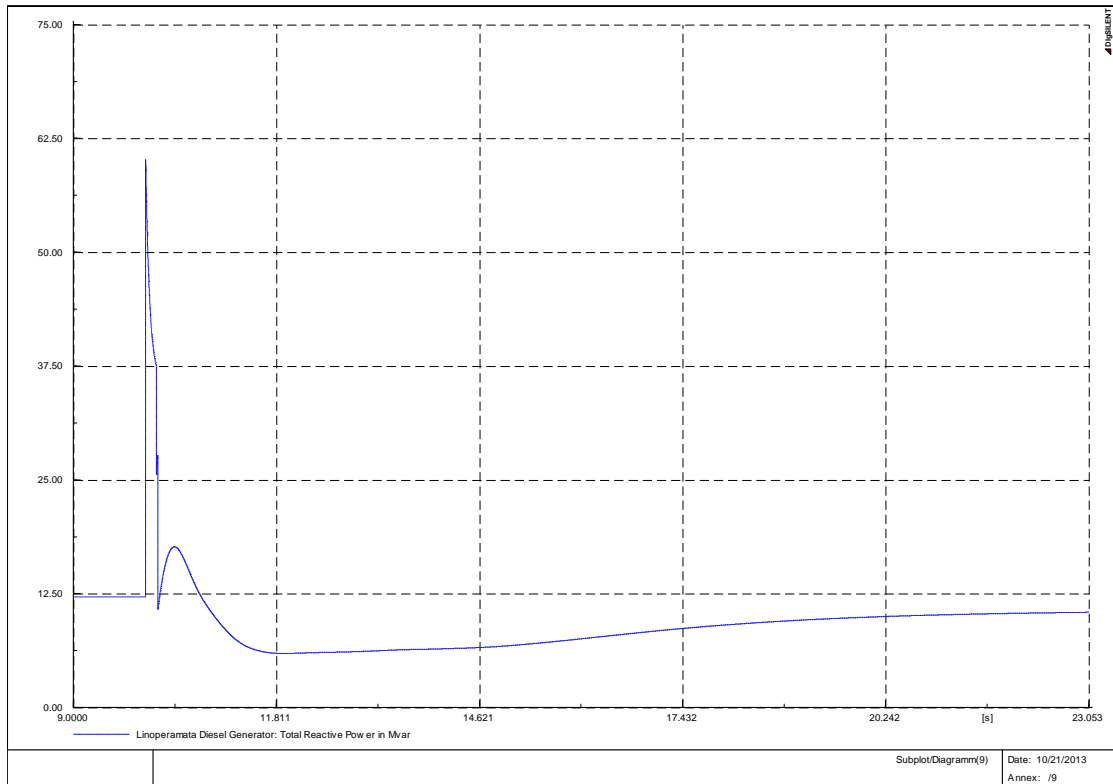


Εικόνα 105: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθρινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

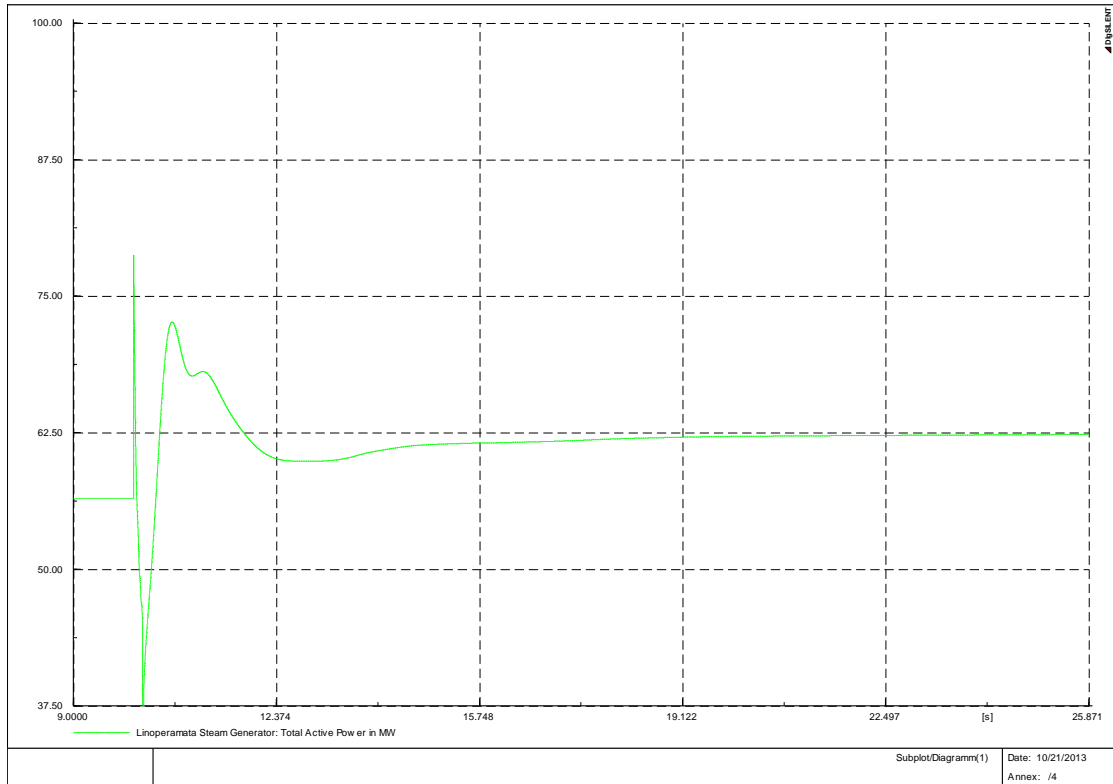


Εικόνα 106: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

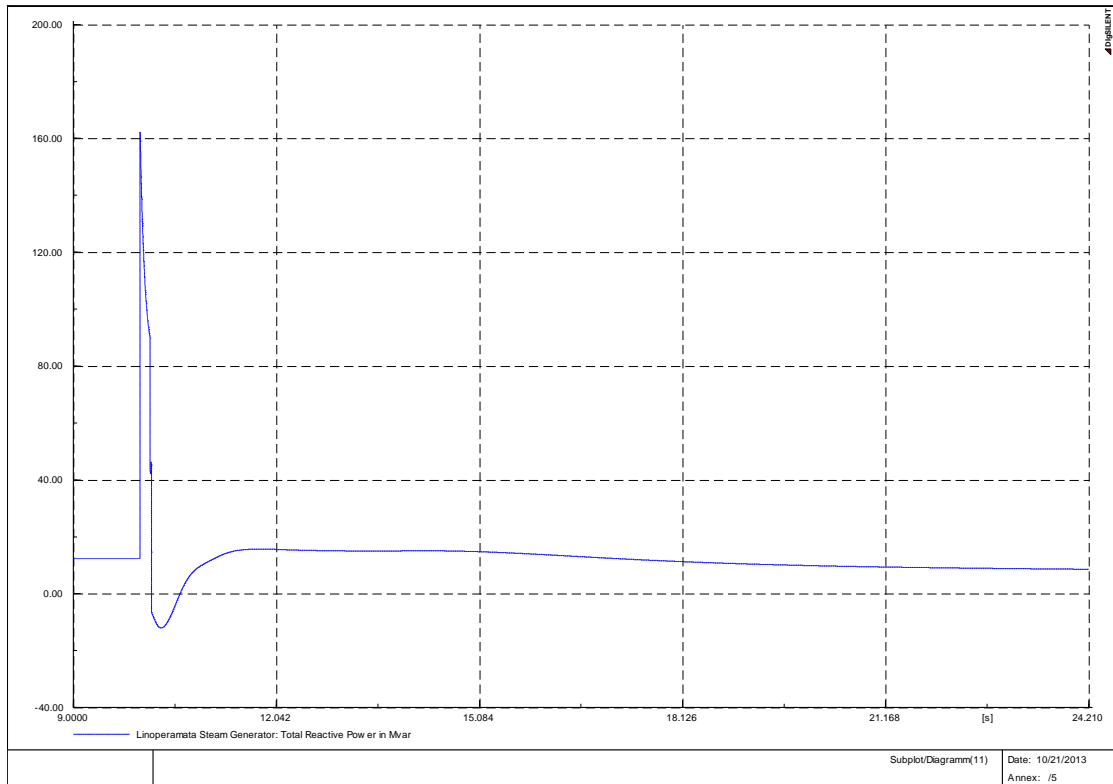


Εικόνα 107: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

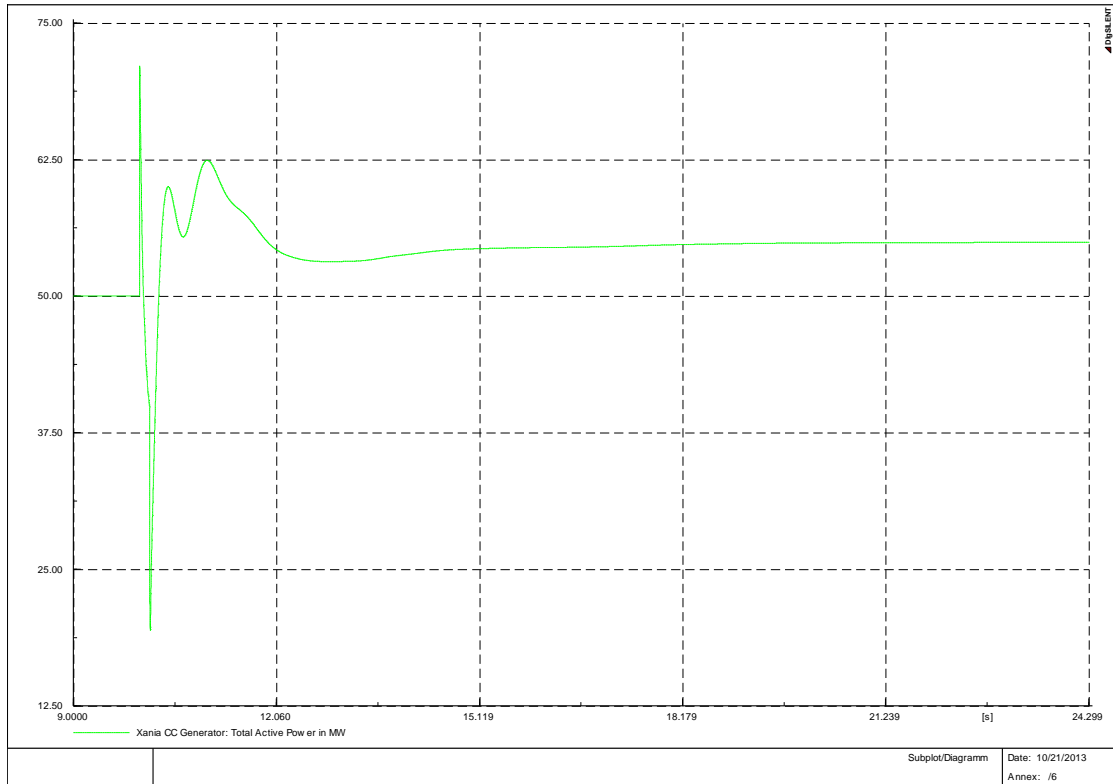


Εικόνα 108: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

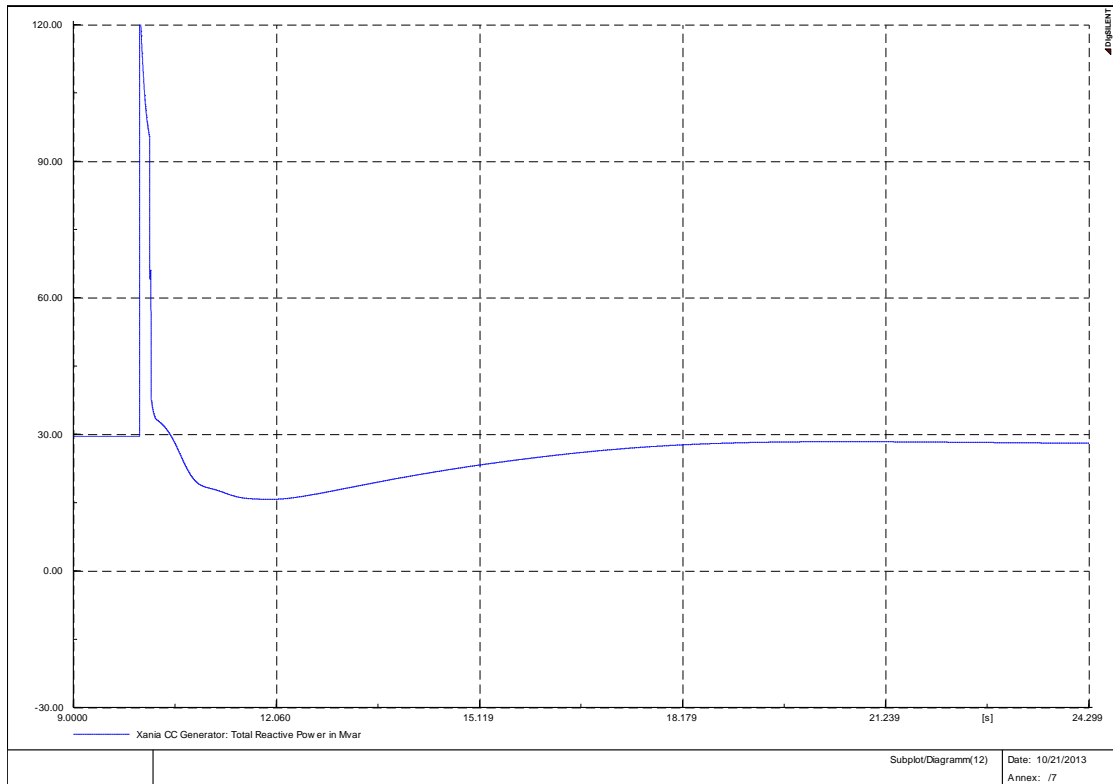


Εικόνα 109: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

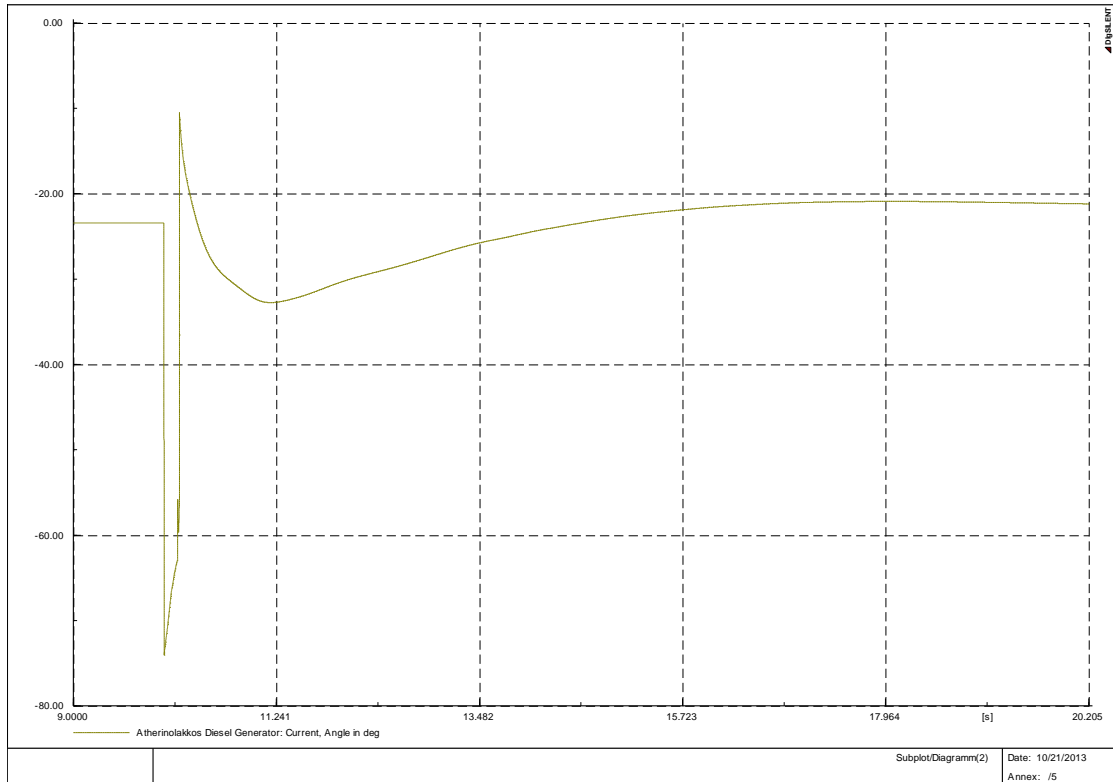


Εικόνα 110: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

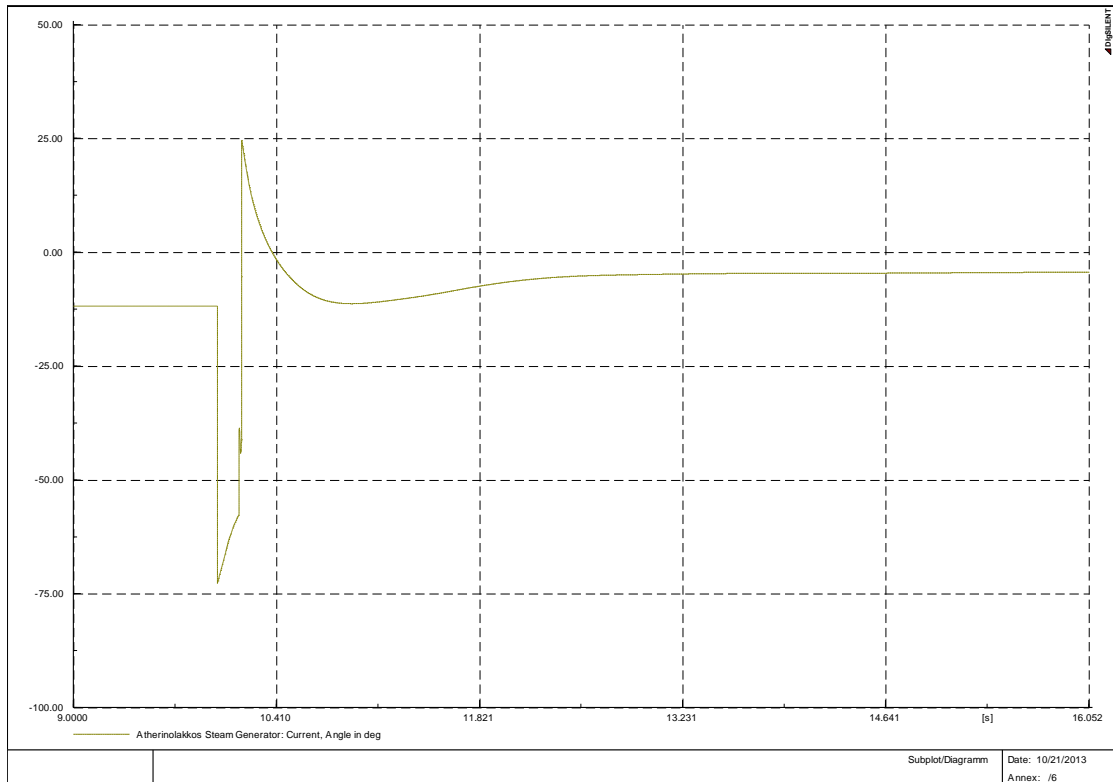


Εικόνα 111: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

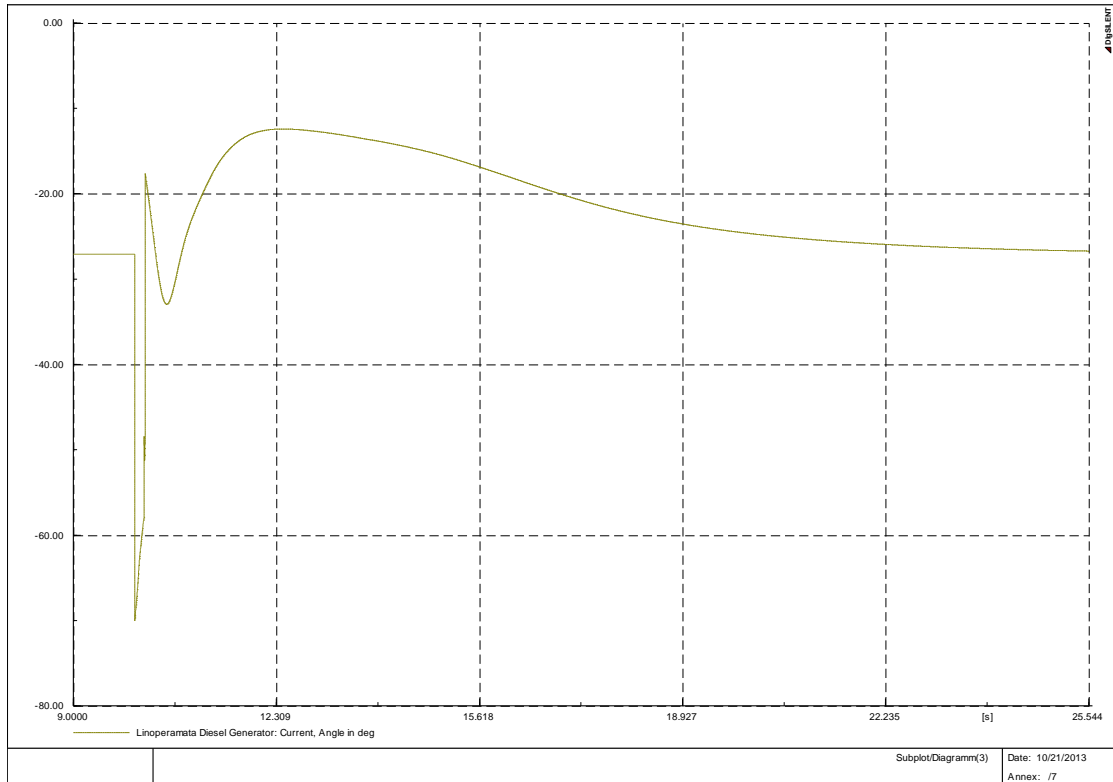


Εικόνα 112: Γωνία Δρομέα Ντηζελογεννήτριας Αθερινόλακκου

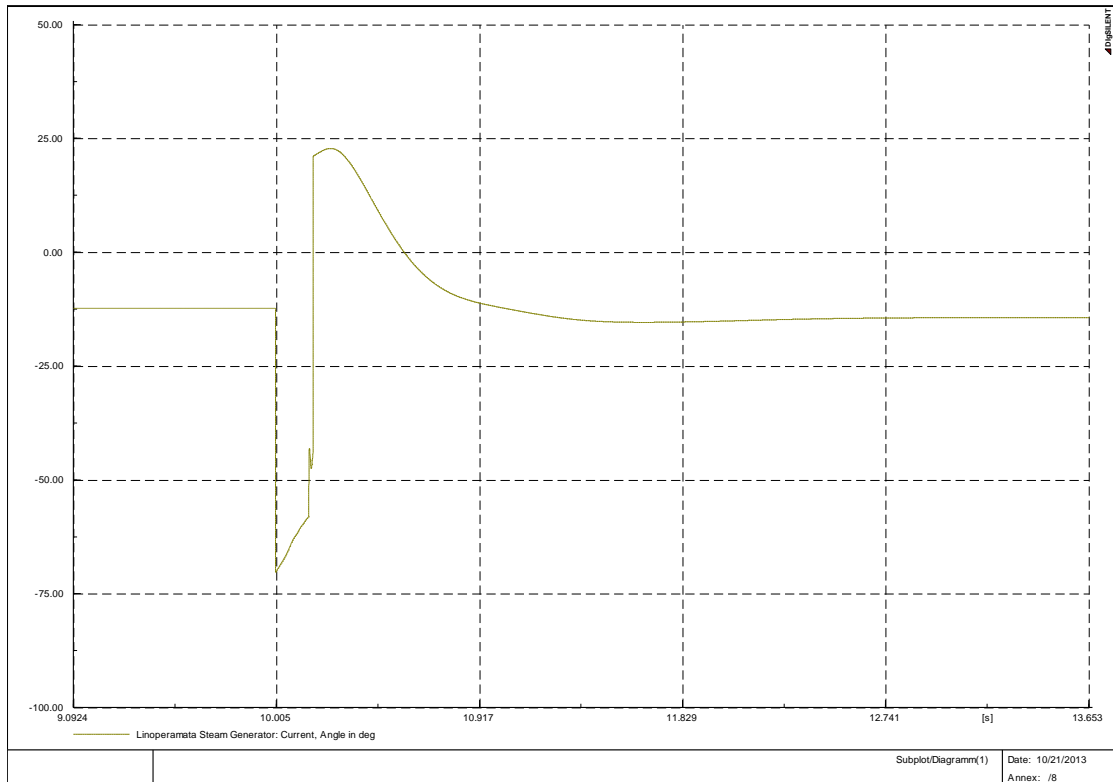


Εικόνα 113: Γωνία Δρομέα Ατμοστροβίλου Αθερινόλακκου

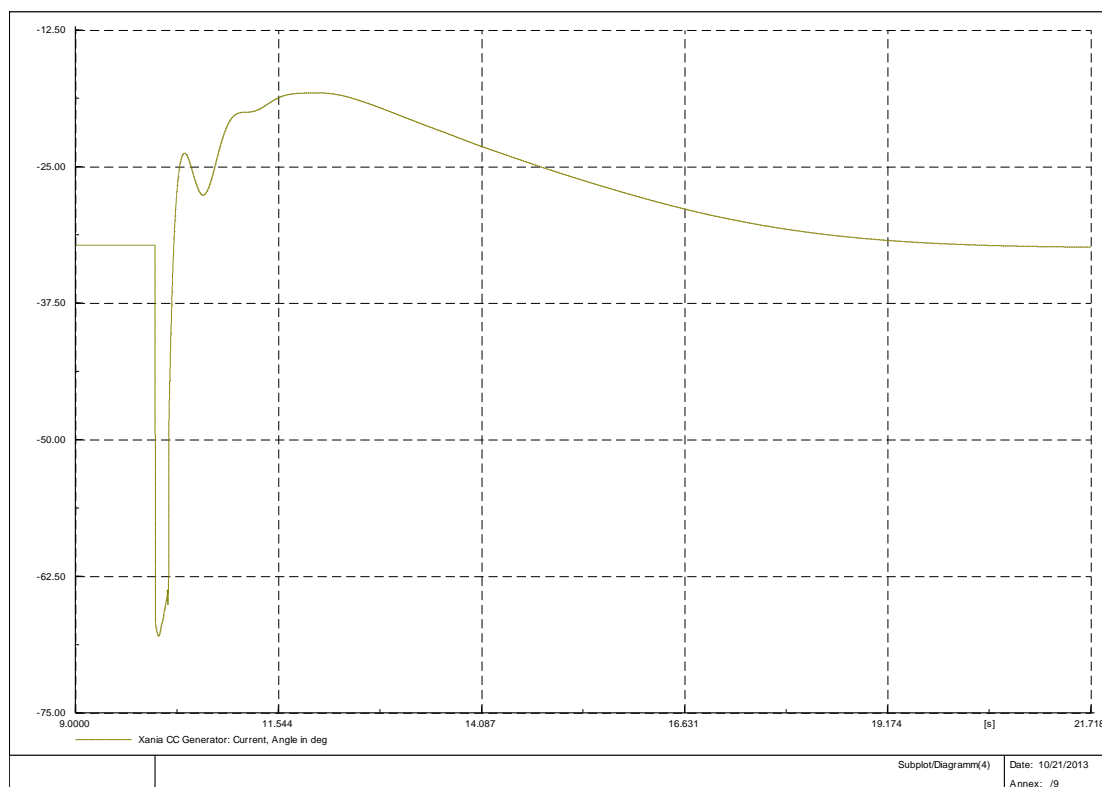
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 114: Γωνία Δρομέα Ντηζελογεννήτριας Λινοπεραμάτων



Εικόνα 115: Γωνία Δρομέα Ατμοστροβίλου Λινοπεραμάτων



Εικόνα 116: Γωνία Δρομέα Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

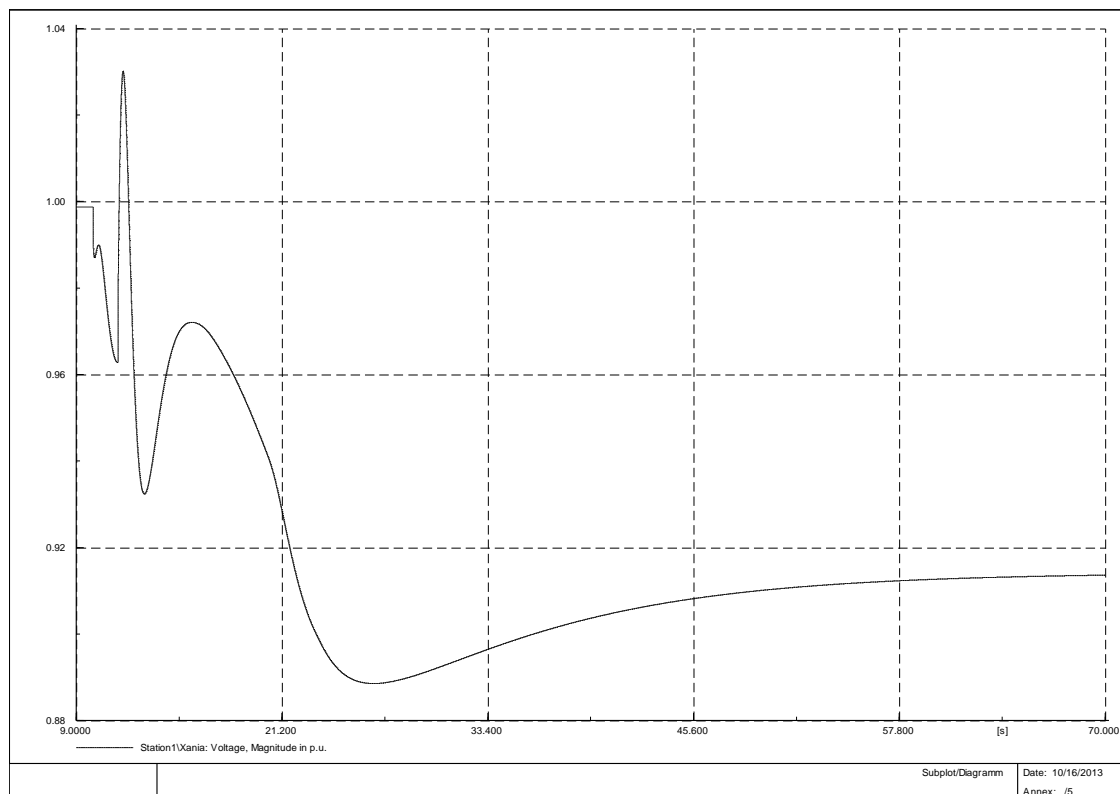
Το σύστημα στο σφάλμα αυτό επανέρχεται κανονικά, χωρίς να ξεπεράσει τα όρια της συχνότητας. Όπως και στα άλλα βραχυκυκλώματα, οι τάσεις είναι λογικό να ξεπερνούν το κάτω όριο του 0,9 αμ για τις έκτακτες συνθήκες, αλλά αυτό συμβαίνει ουσιαστικά για όσο διαρκεί το σφάλμα (150 ms) ενώ μετά ακολουθεί η επαναφορά του συστήματος στις φυσιολογικές τιμές. Προφανώς αποσυνδέεται το αιολικό πάρκο της Σητείας λόγω μεγάλης πτώσης τάσης. Το ίδιο συμβαίνει και στη Μαρωσιά, αλλά οι Βρύσες που βρίσκονται πιο μακριά δεν επηρεάζονται τόσο πολύ και μένουν συνδεδεμένες.

Πρέπει να σημειωθεί πως η απώλεια των αιολικών είναι μικρή (20 MW), κάτι που σημαίνει πως μπορεί να καλυφθεί εύκολα από τους σταθμούς, όπως και γίνεται. Μπορεί κανείς όμως εύκολα να φανταστεί πως σε περίπτωση μεγαλύτερης απώλειας, οι μονάδες δε θα μπορούν να καλύψουν εύκολα το έλλειμμα και ως εκ τούτου η συχνότητα μπορεί να ξεπεράσει τα όρια πριν επανέλθει, αν αυτό συμβεί. Αυτό φαίνεται στο αντίστοιχο σφάλμα στο σενάριο 3.

6.1.3 Σενάριο 3

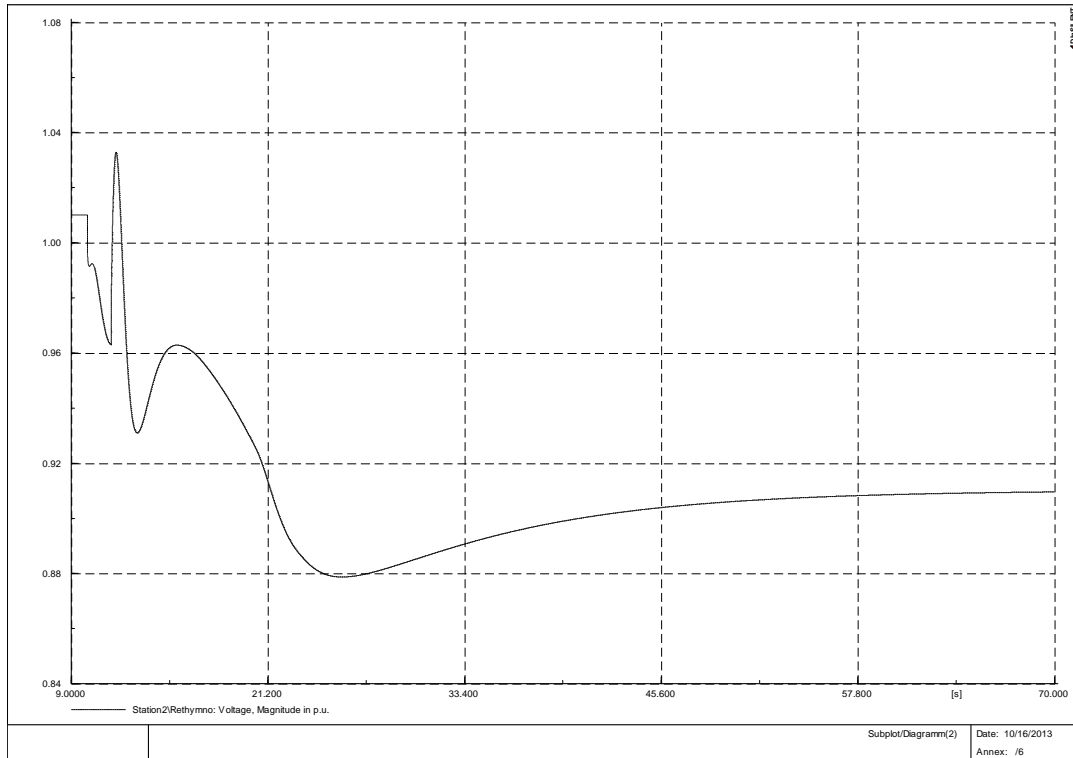
Διαταραχή 1: Απώλεια Μονάδας ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

Στο σενάριο αυτό τίθεται εκτός λειτουργίας η μονάδα ατμοστρόβιλων του Αθερινόλακκου, καθώς είναι η μονάδα με την περισσότερη παραγωγή σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας.

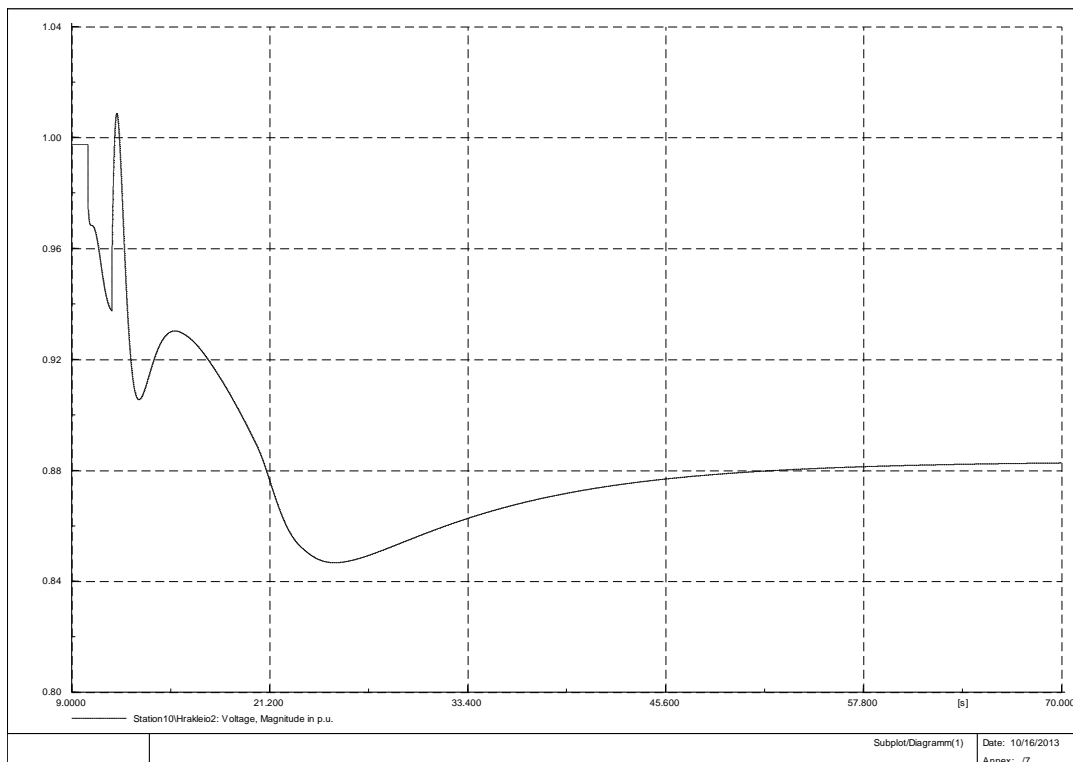


Εικόνα 117: Μέτρο Τάσης Ζυγού Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

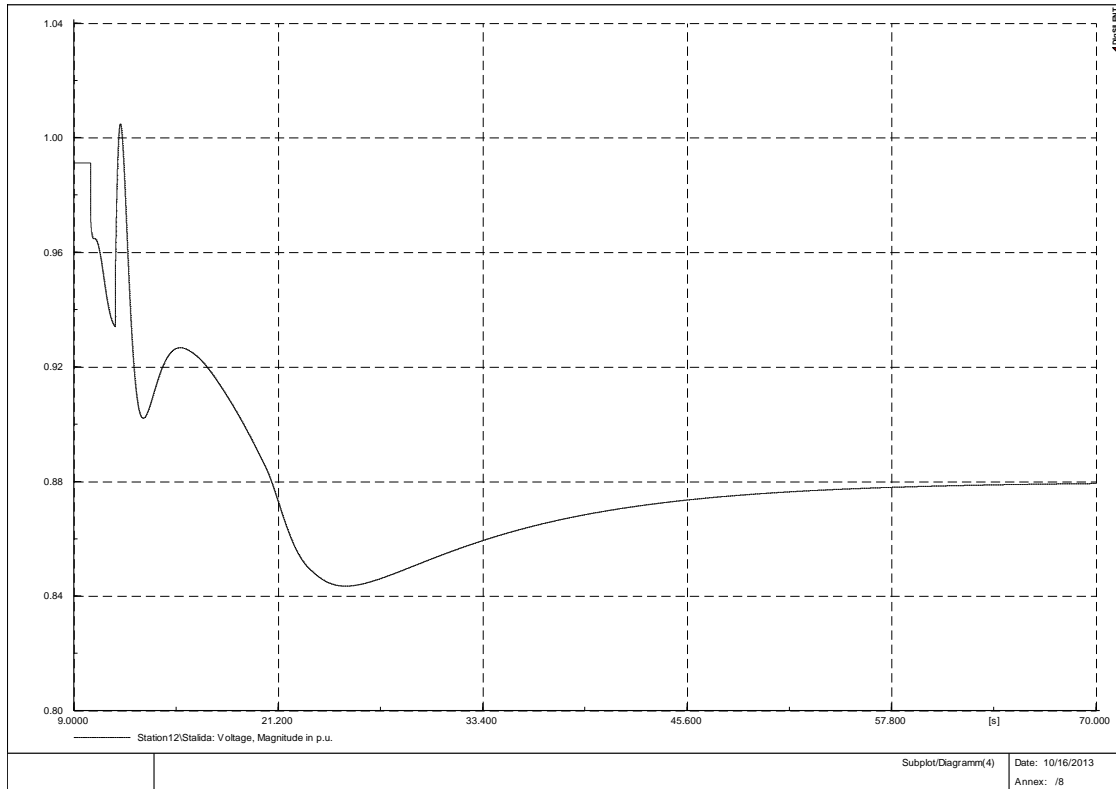


Εικόνα 118: Μέτρο Τάσης Ζυγού Ρεθύμνου

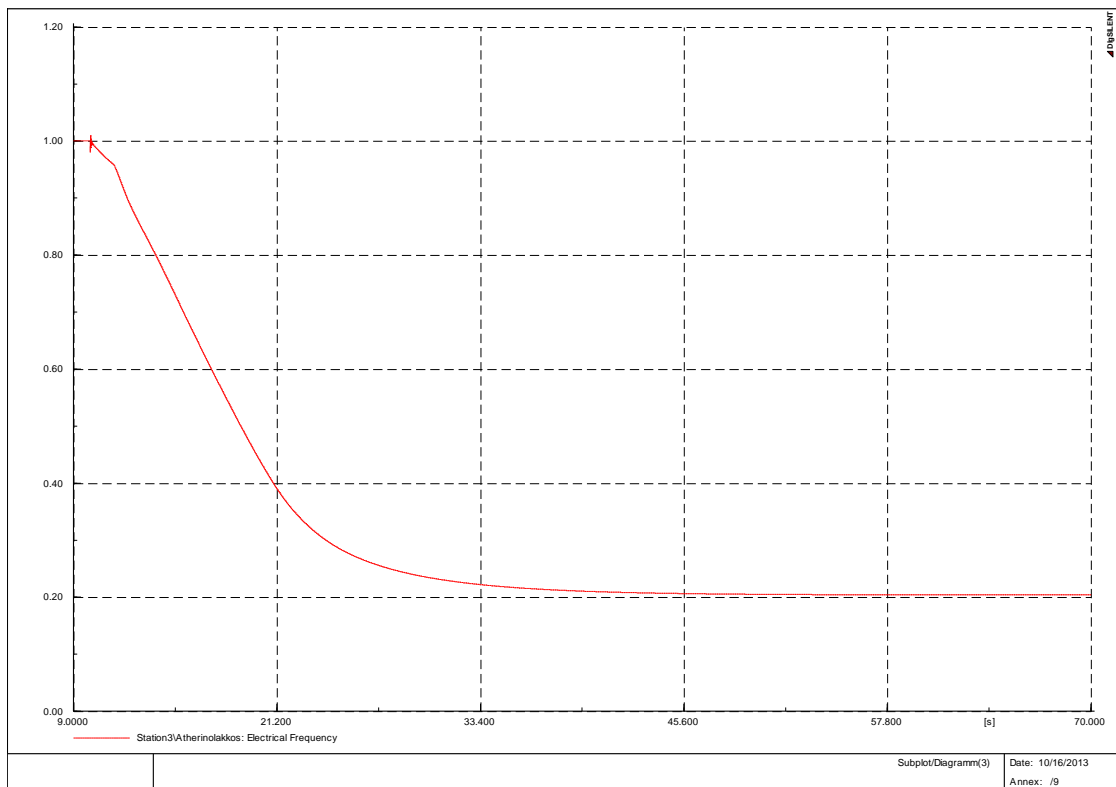


Εικόνα 119: Μέτρο Τάσης Ζυγού Ηράκλειο II

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

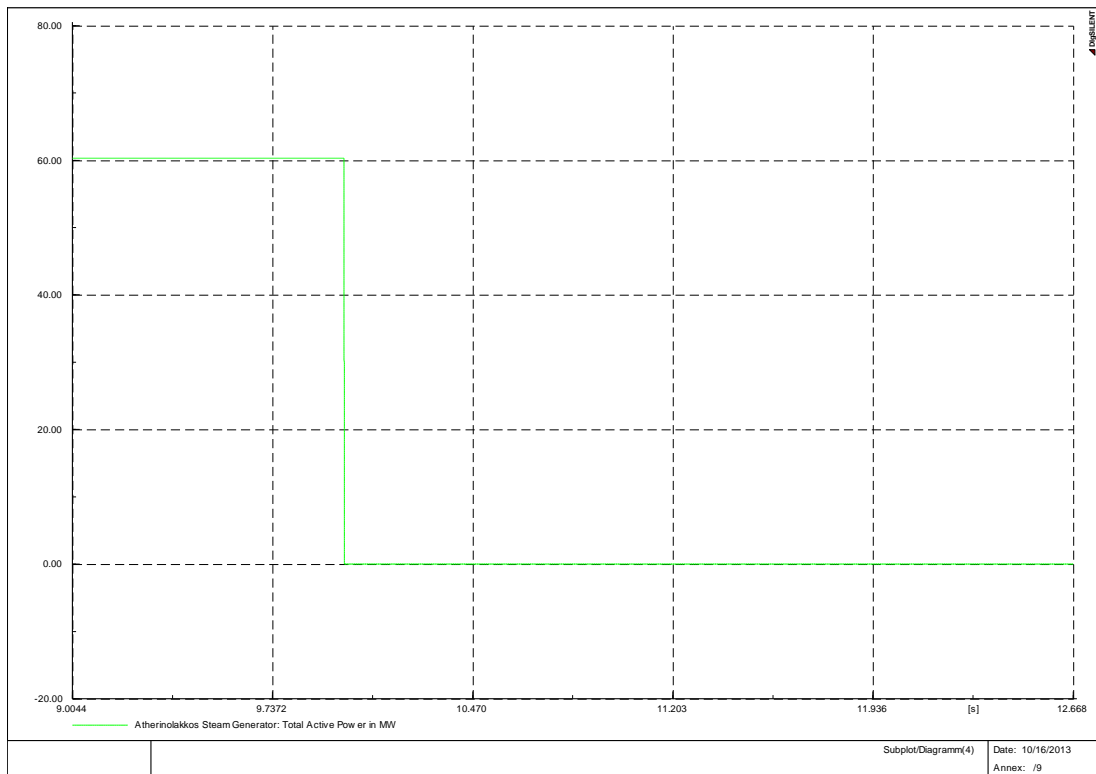


Εικόνα 120: Μέτρο Τάσης Ζυγού Σταλίδας

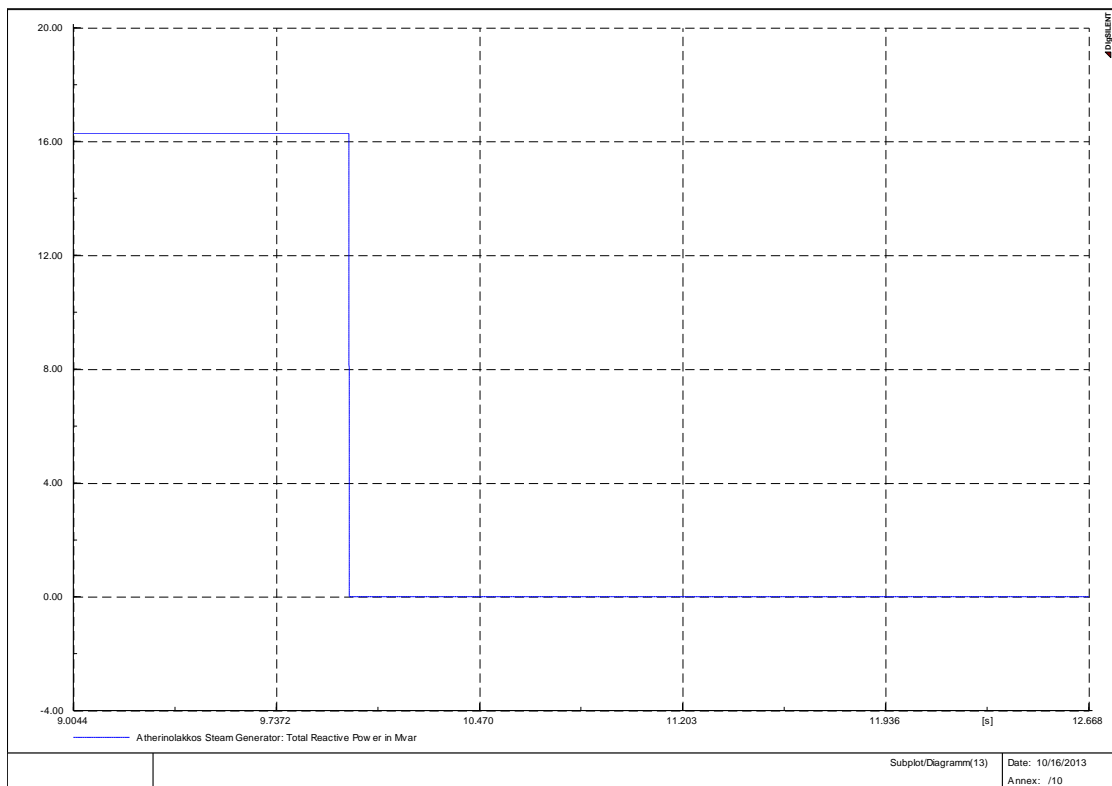


Εικόνα 121: Συχνότητα Συστήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

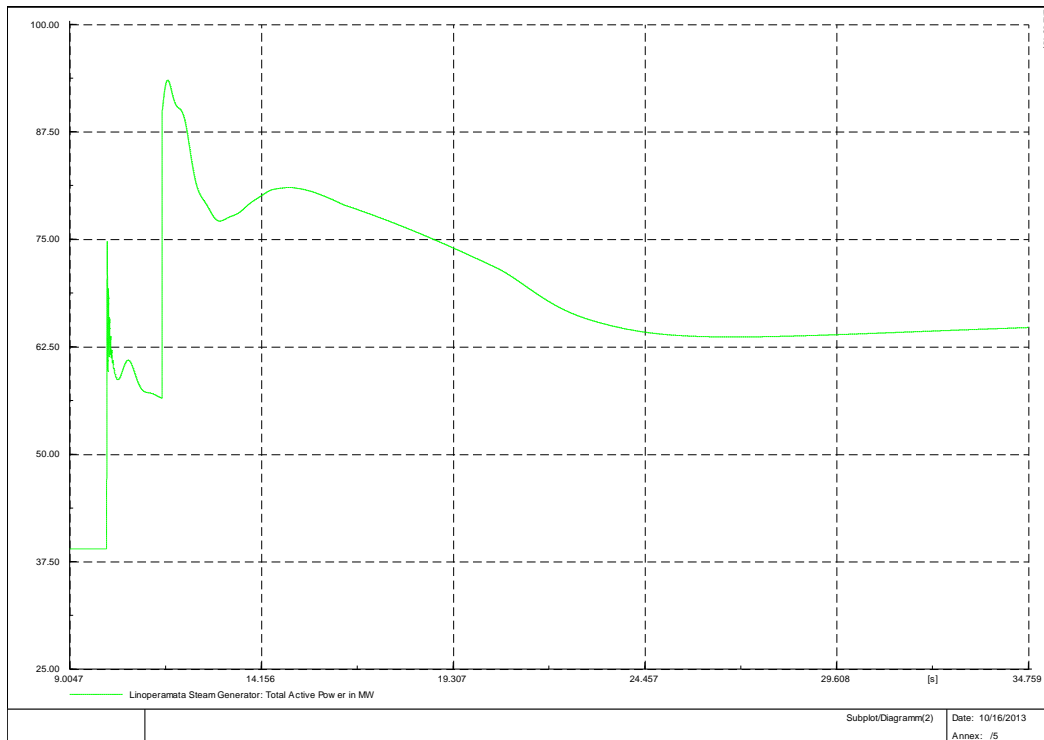


Εικόνα 122: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθρινόλακκου

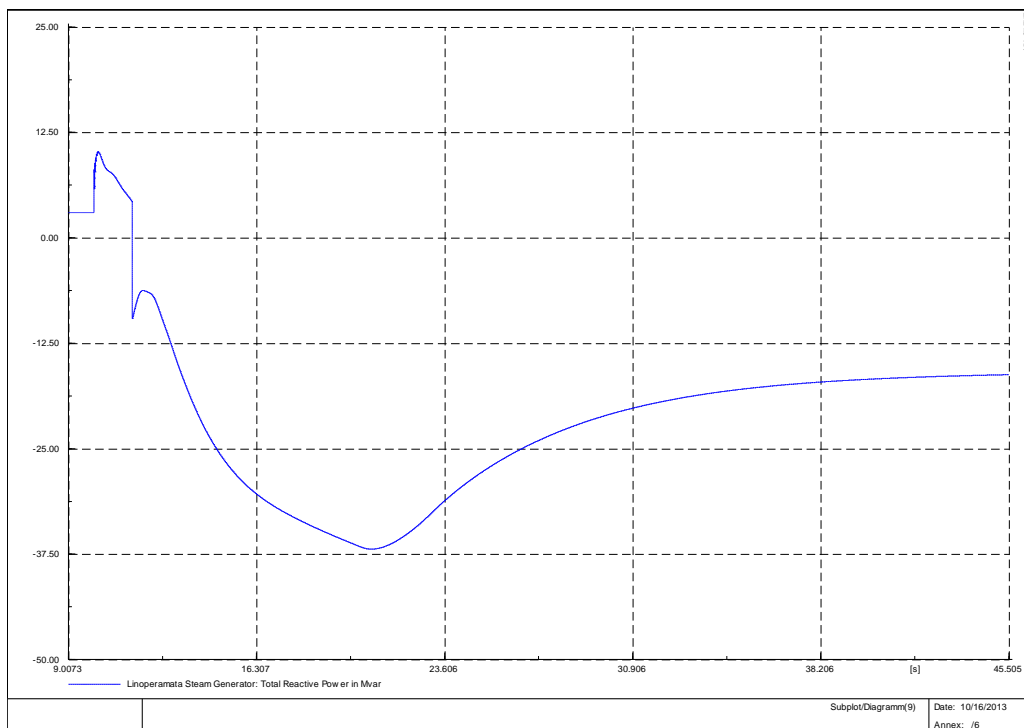


Εικόνα 123: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθρινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

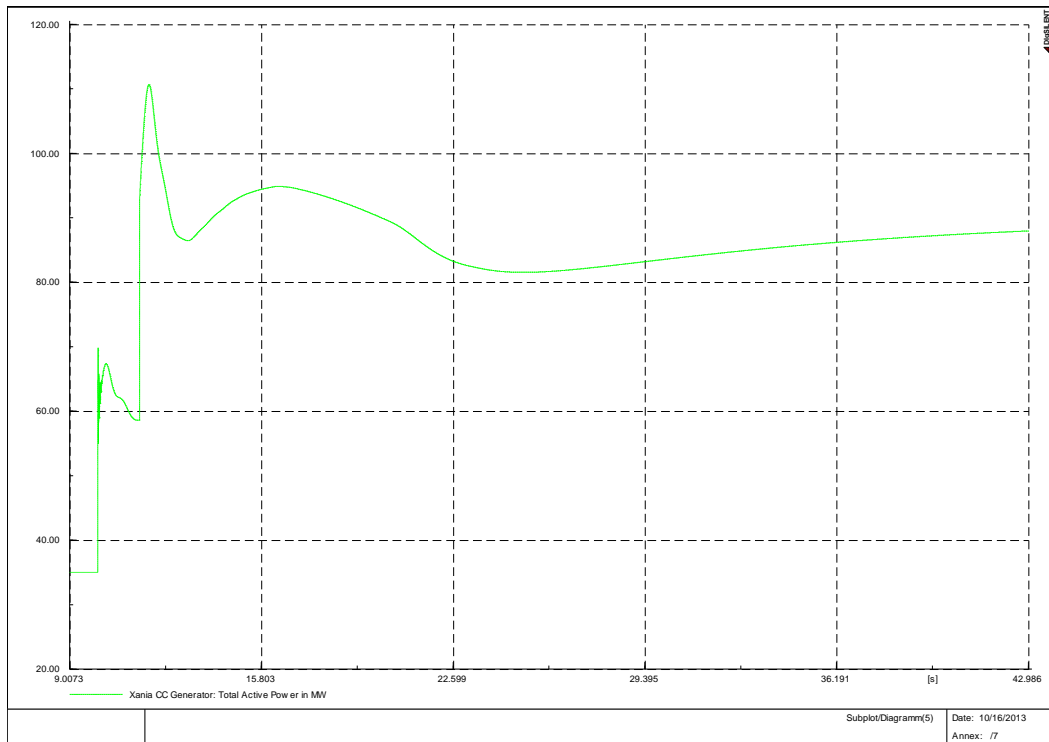


Εικόνα 124: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

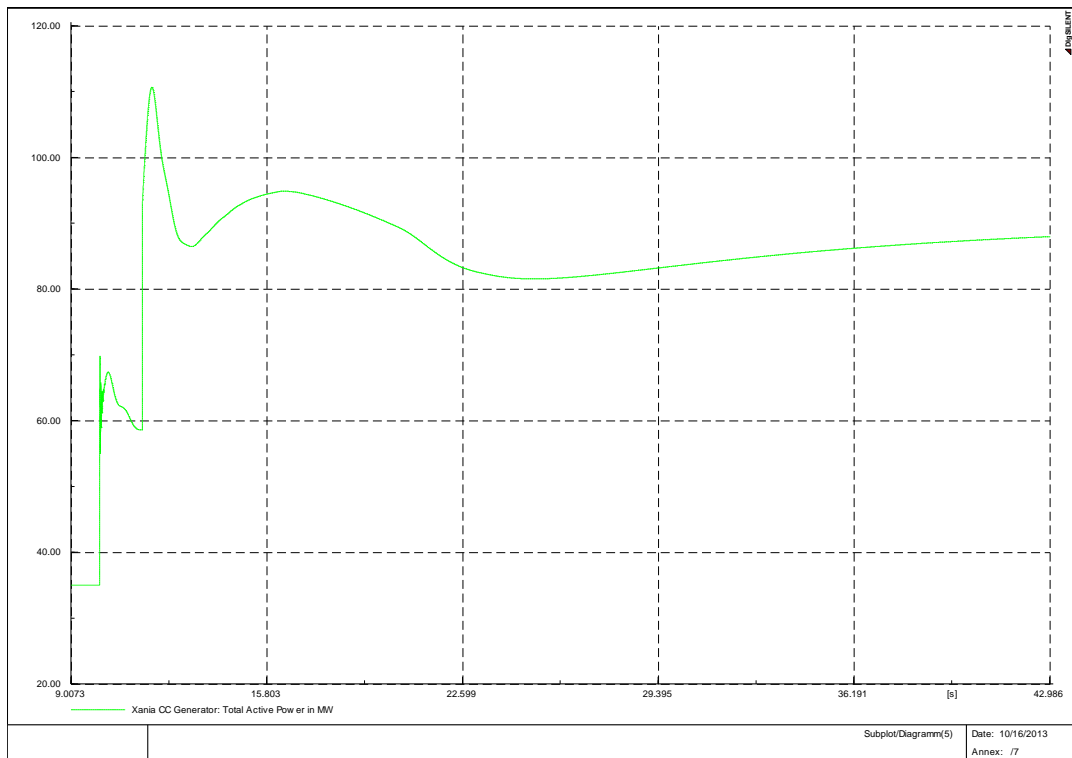


Εικόνα 125: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 126: Ενεργός Ισχύς Συνδυσασμένου Κύκλου Χανίων

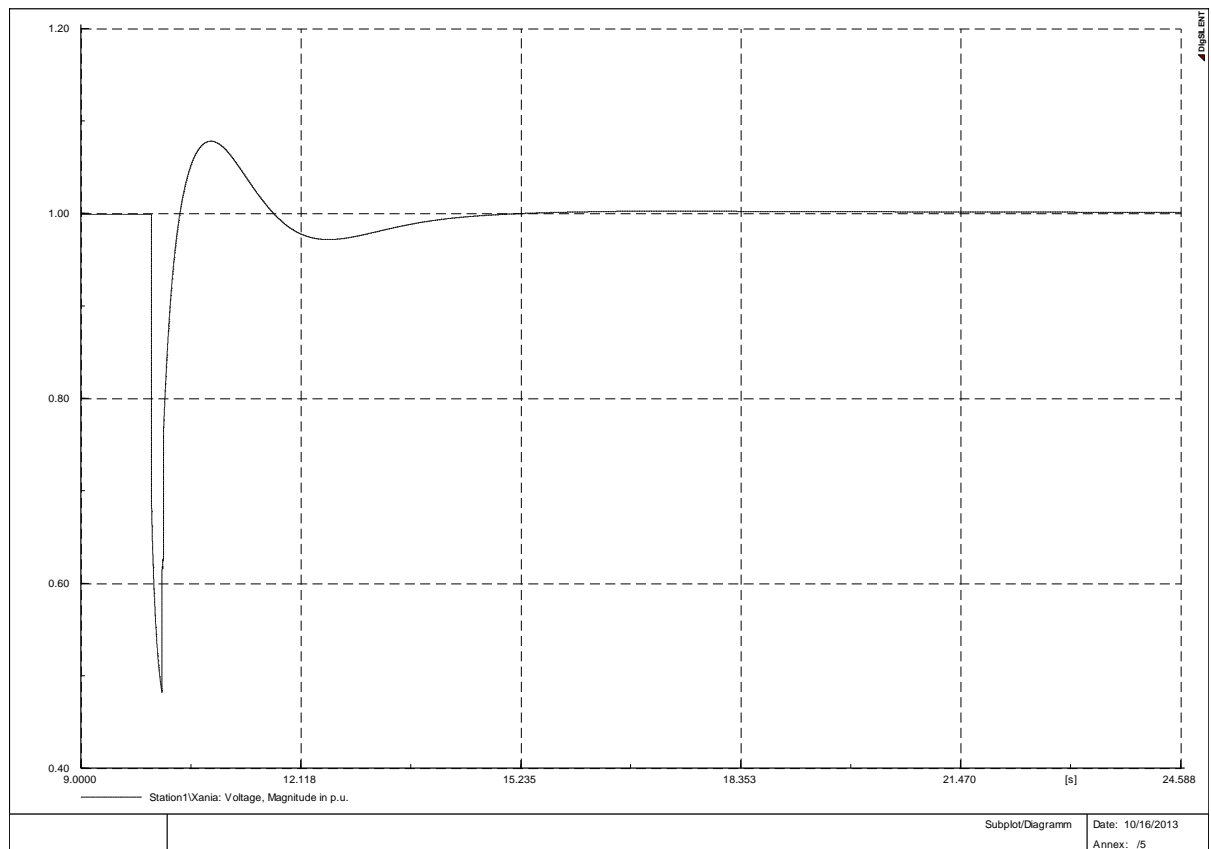


Εικόνα 127: Άεργος Ισχύς Συνδυσασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

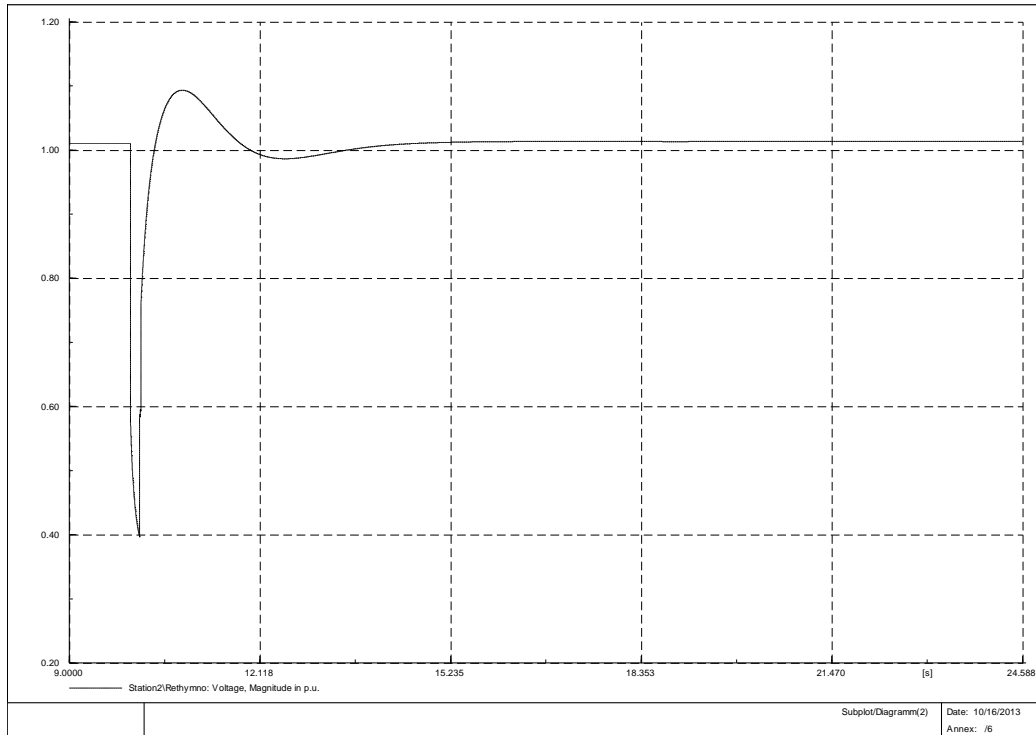
Όπως φαίνεται και στις γραφικές παραστάσεις οι τάσεις όλων των ζυγών (με εξαίρεση αυτό των Χανίων) πέφτουν μόνιμα κάτω από το 0.9 α.μ. ενώ η συχνότητα πέφτει πάλι κάτω από τα 20 Hz (0.4 α.μ.), επομένως το σύστημα πάλι δε μπορεί να συνεχίσει τη λειτουργία του. Γίνεται κατανοητό από αυτά που έχουμε δει μέχρι τώρα πως η απώλεια του μεγαλύτερου σταθμού στο σύστημα οδηγεί στην κατάρρευσή του, ακόμη κι αν αυτό έχει χαμηλή φόρτιση.

Διαταραχή 2: Βραχυκύκλωμα στο ζυγό της Σητείας

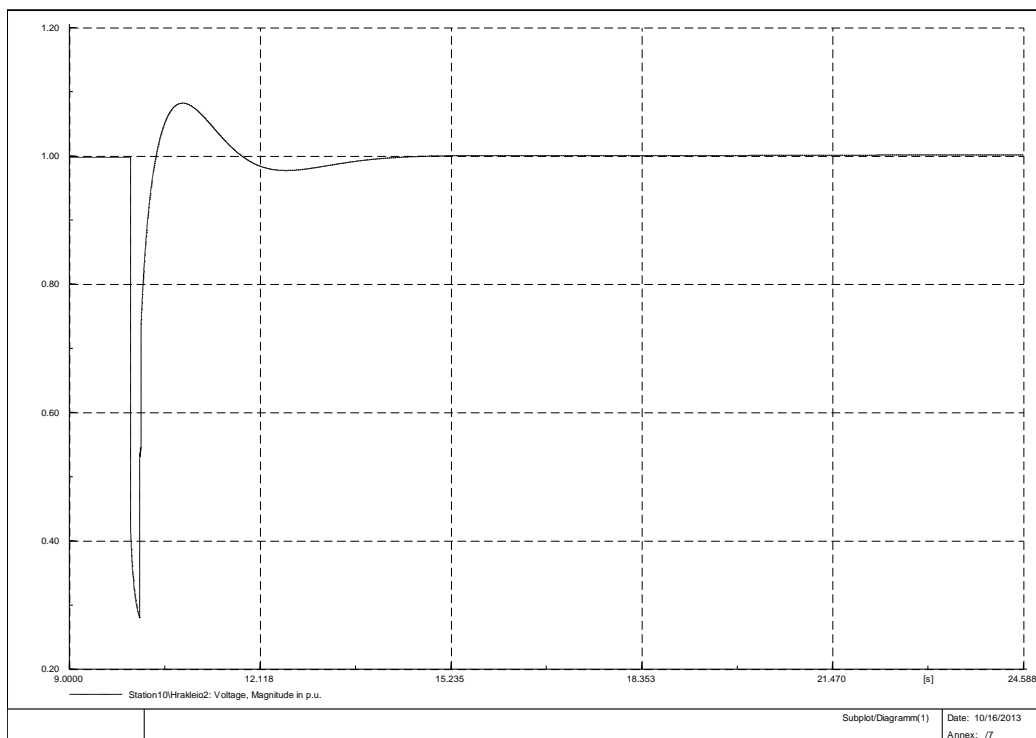


Εικόνα 128: Μέτρο Τάσης Ζυγού Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

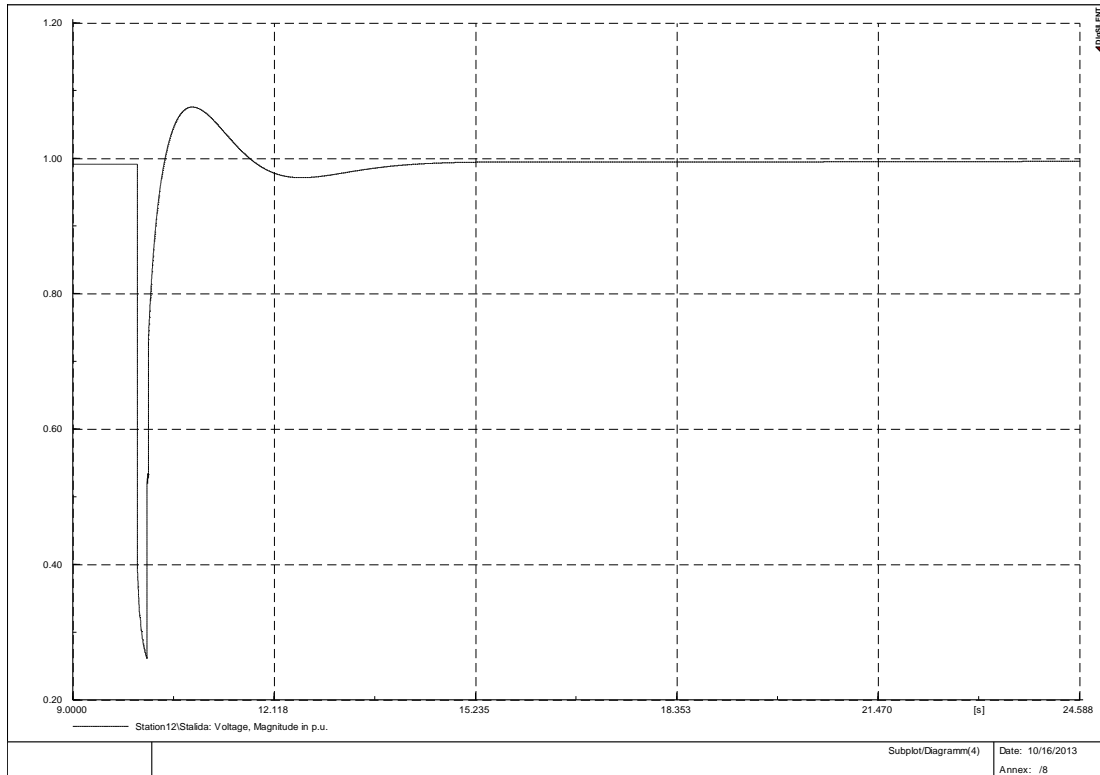


Εικόνα 129: Μέτρο Τάσης Ζυγού Ρεθύμνου

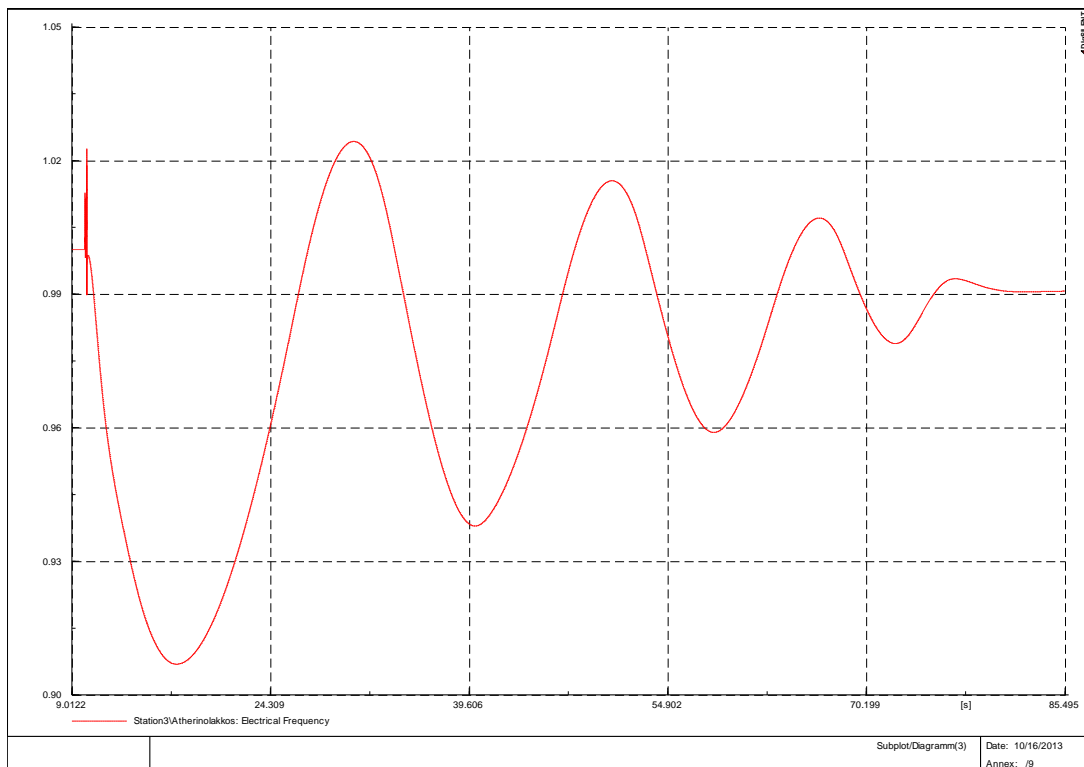


Εικόνα 130: Μέτρο Τάσης Ζυγού Ηράκλειο II

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

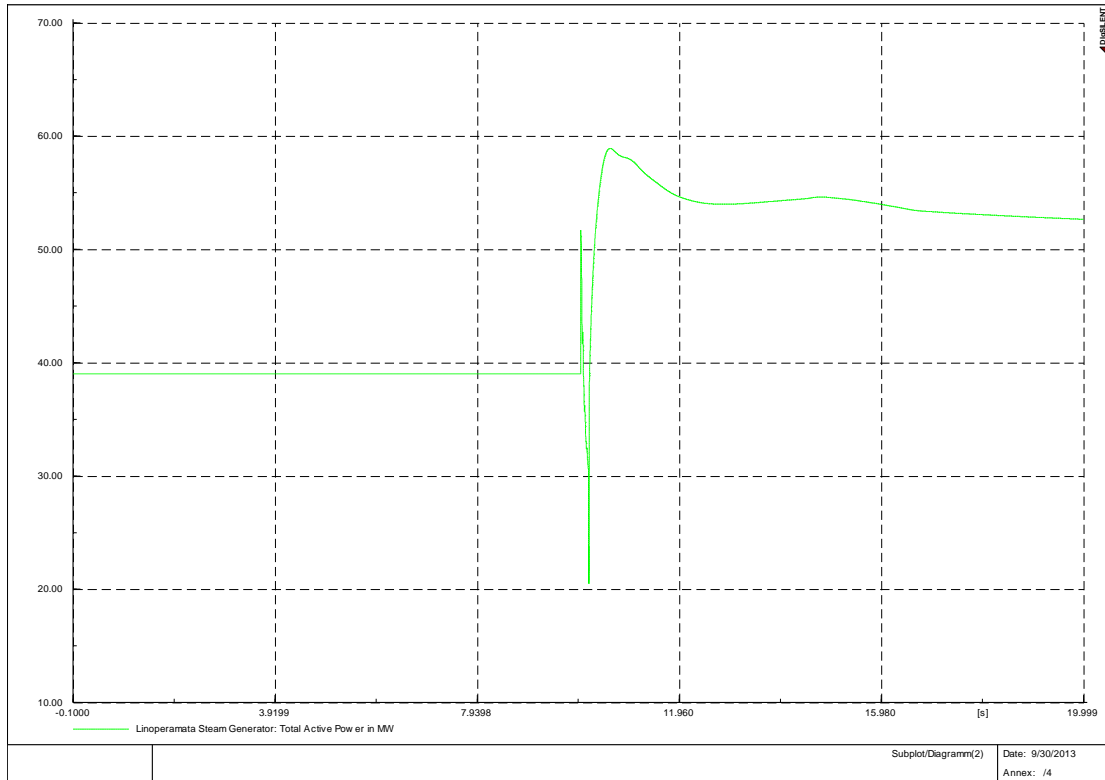


Εικόνα 131: Μέτρο Τάσης Ζυγού Σταλίδας

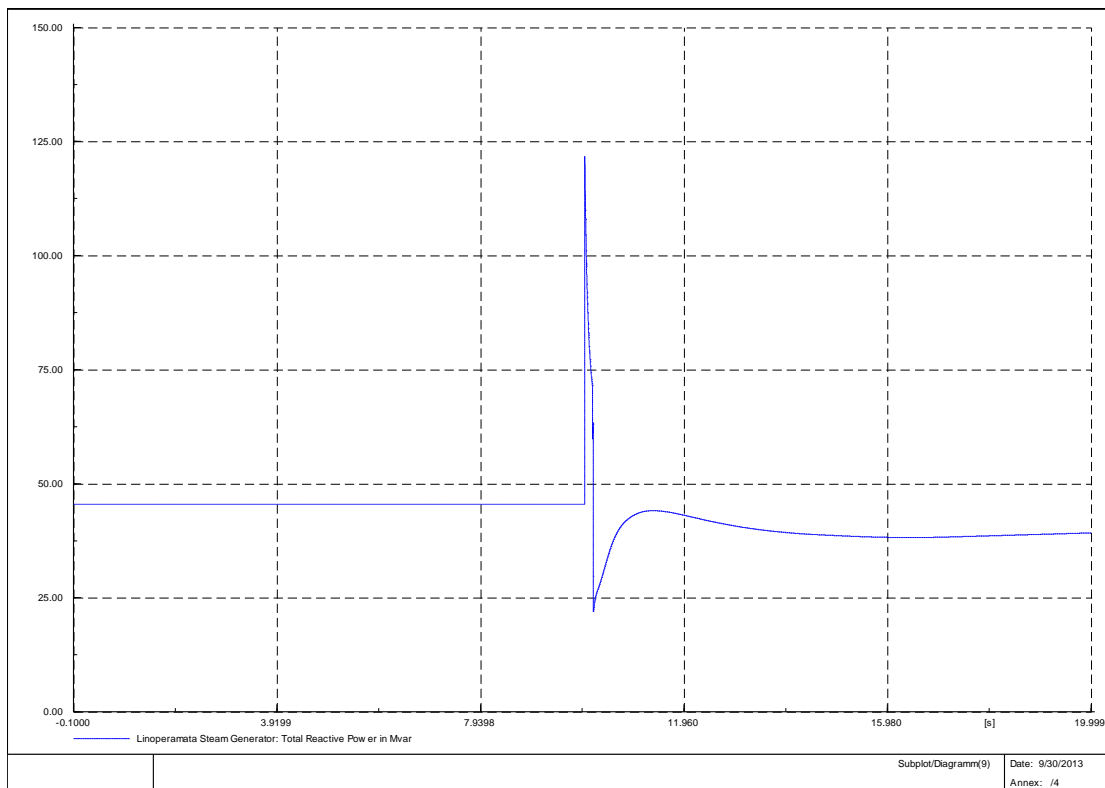


Εικόνα 132: Συχνότητα Συστήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

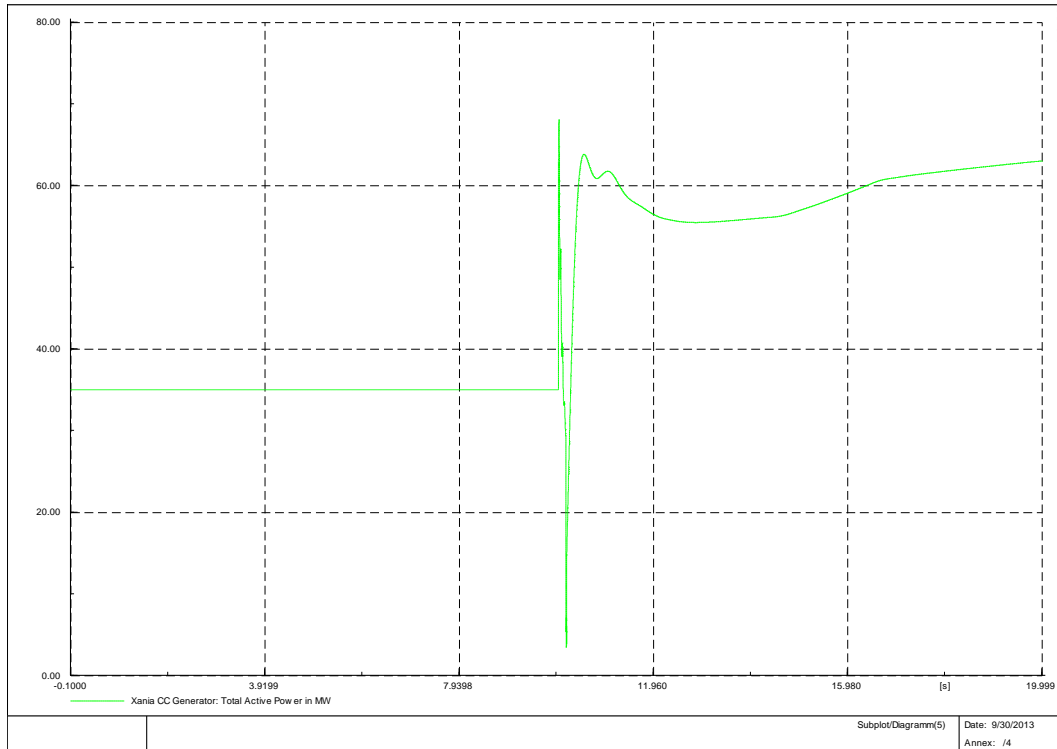


Εικόνα 133: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

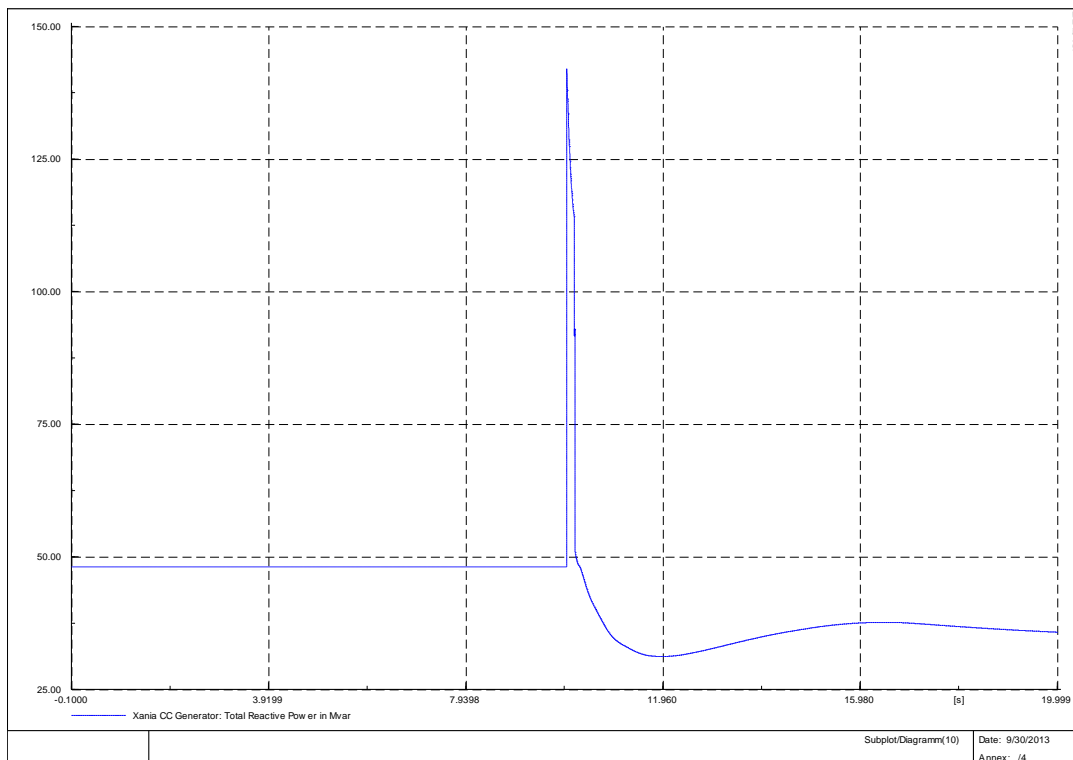


Εικόνα 134: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

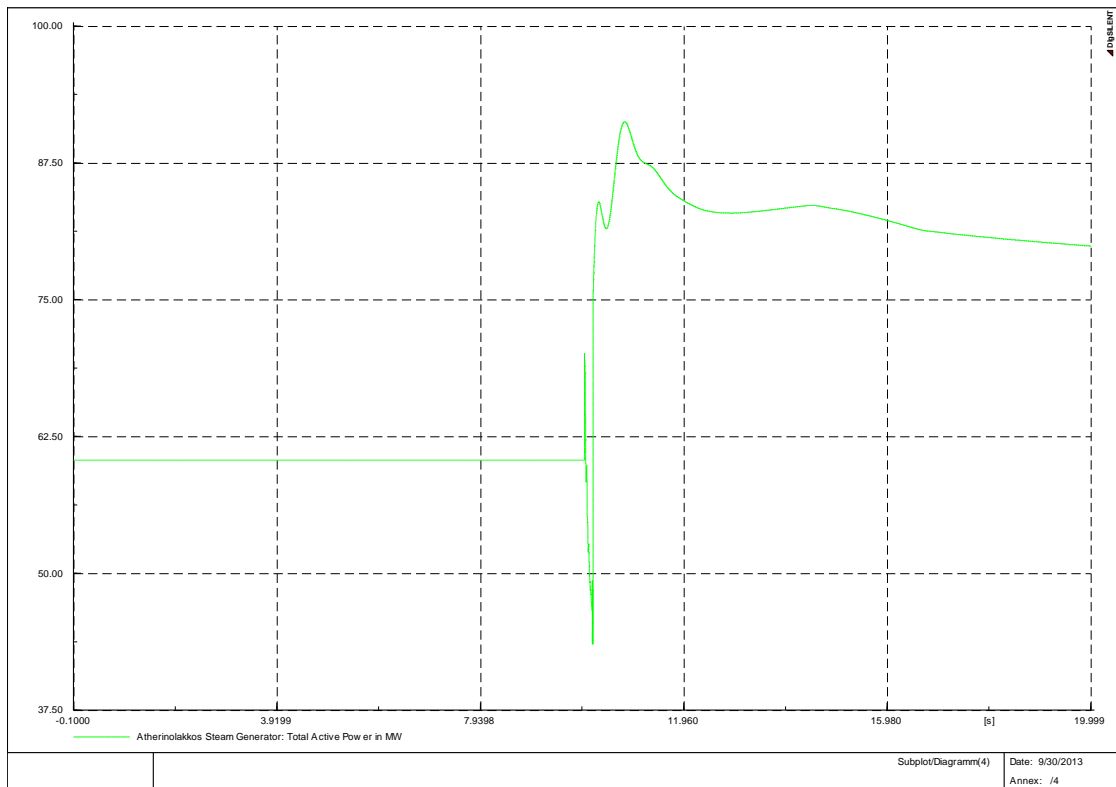


Εικόνα 135: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

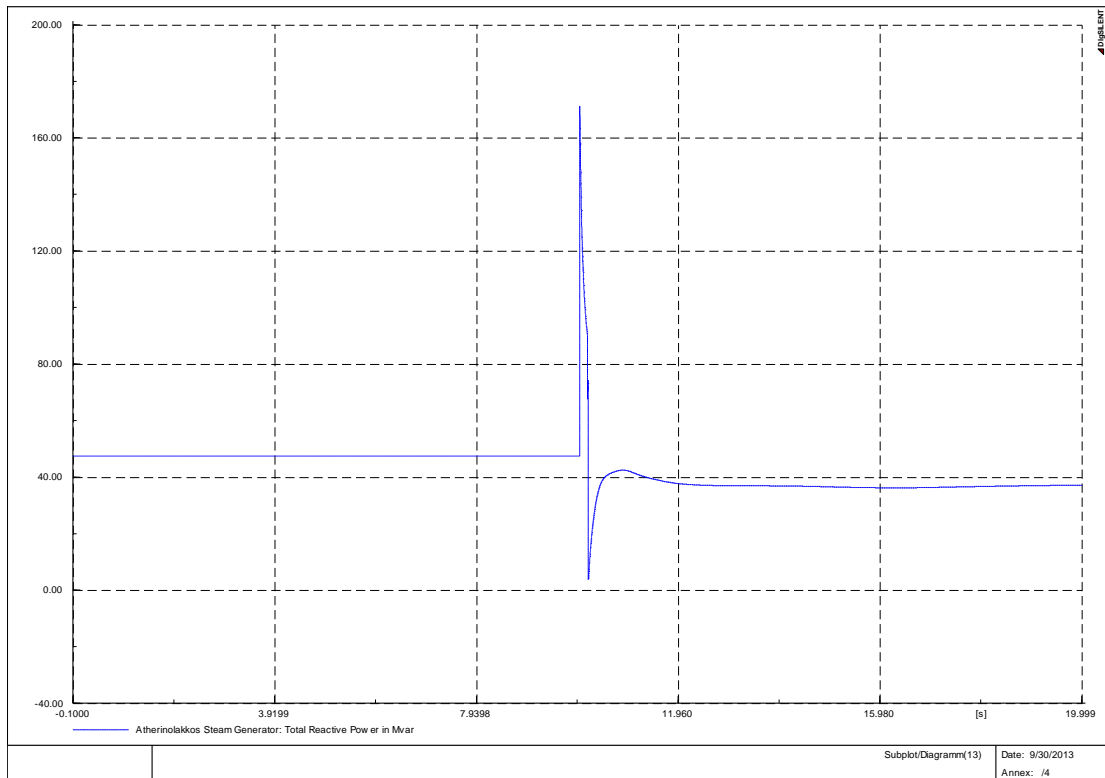


Εικόνα 136: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

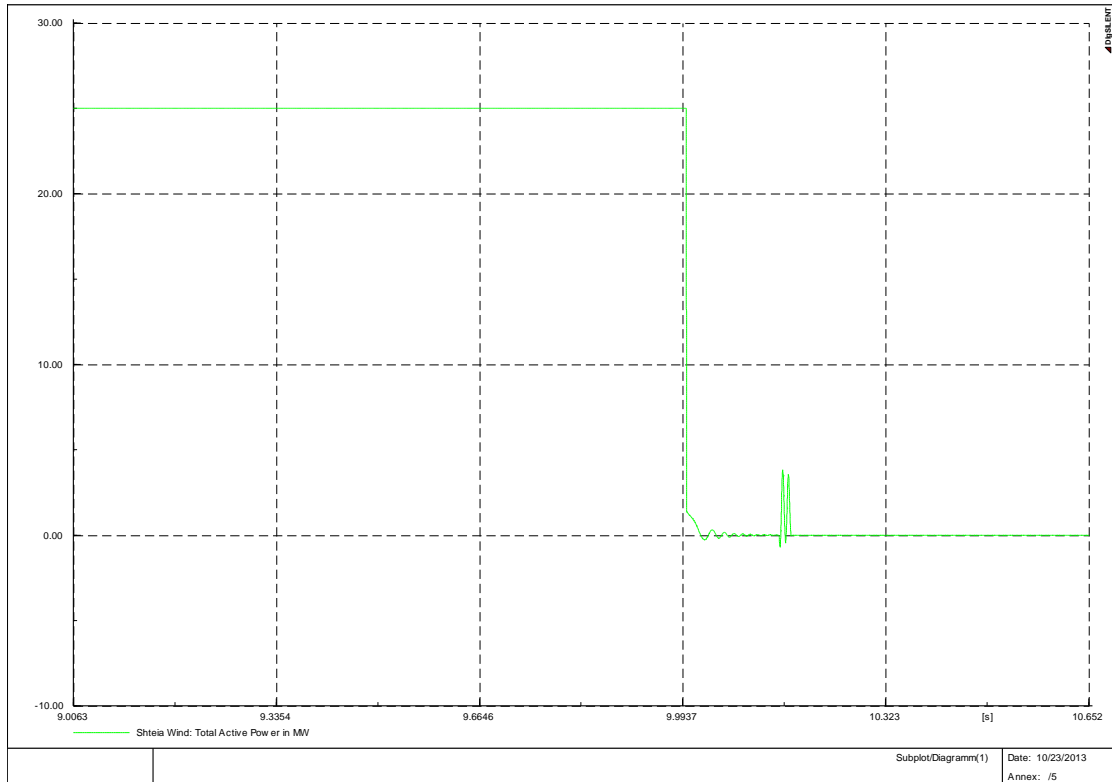


Εικόνα 137: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

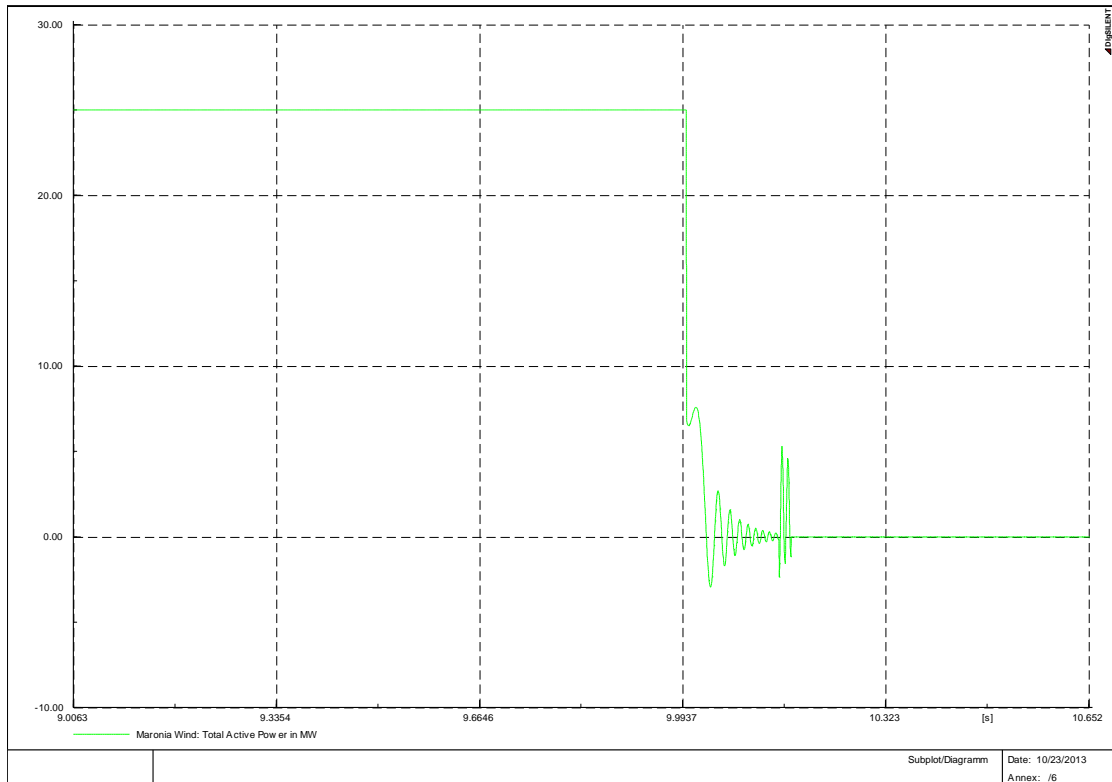


Εικόνα 138: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

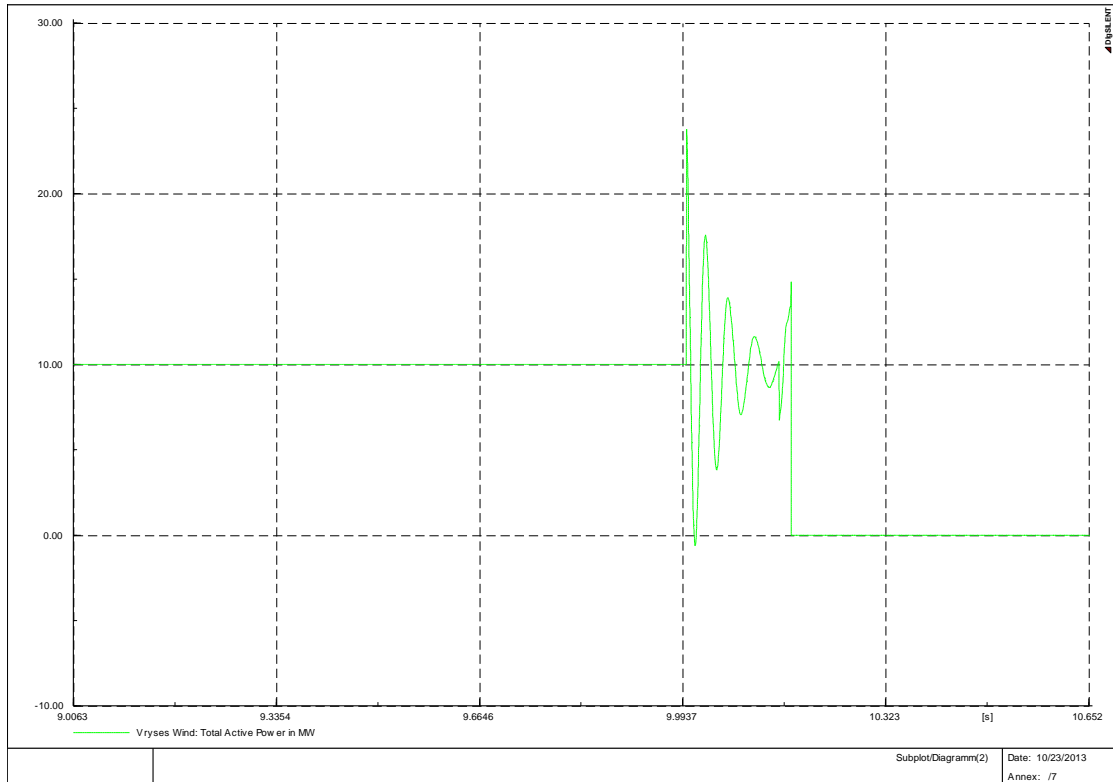


Εικόνα 139: Ενεργός Ισχύς Αιολικών Σητείας

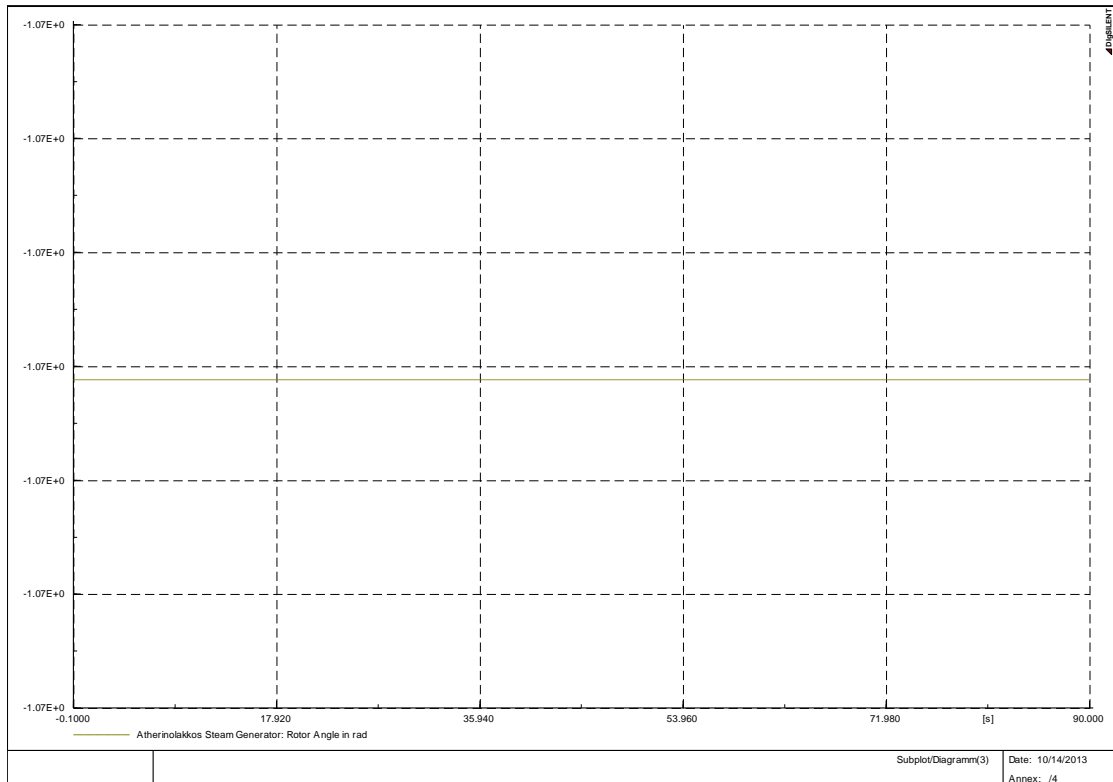


Εικόνα 140: Ενεργός Ισχύς Αιολικών Μαρωνιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

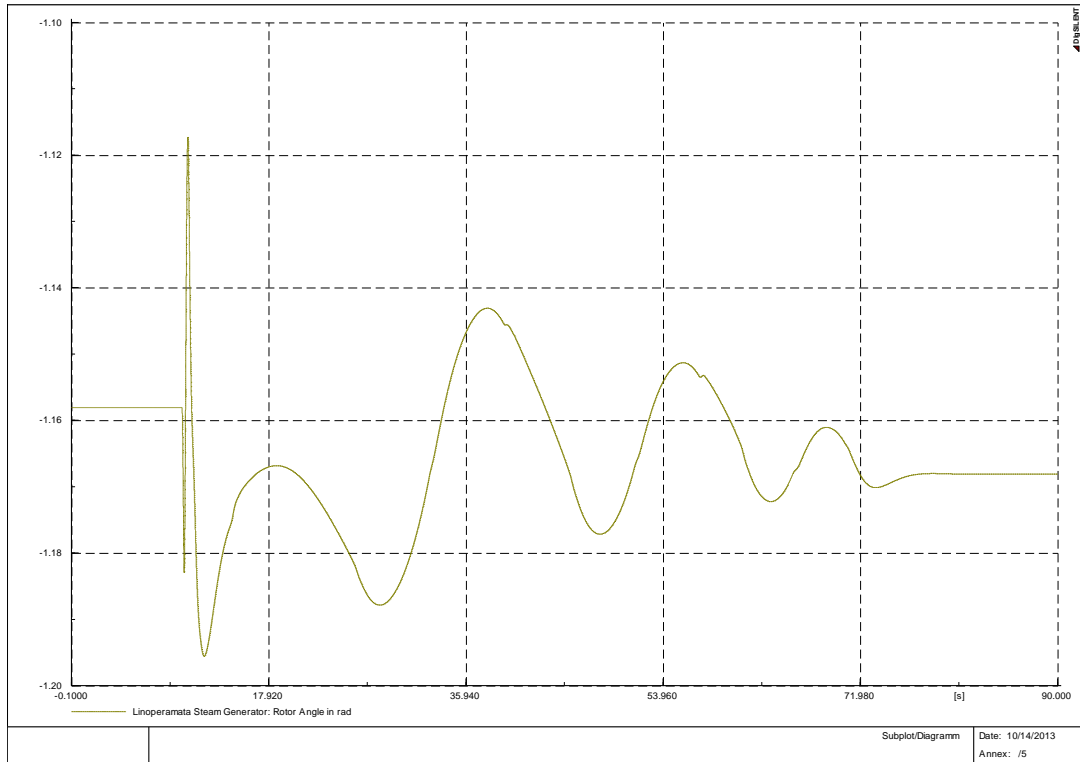


Εικόνα 141: Ενεργός Ισχύς Αιολικών Βρύσες

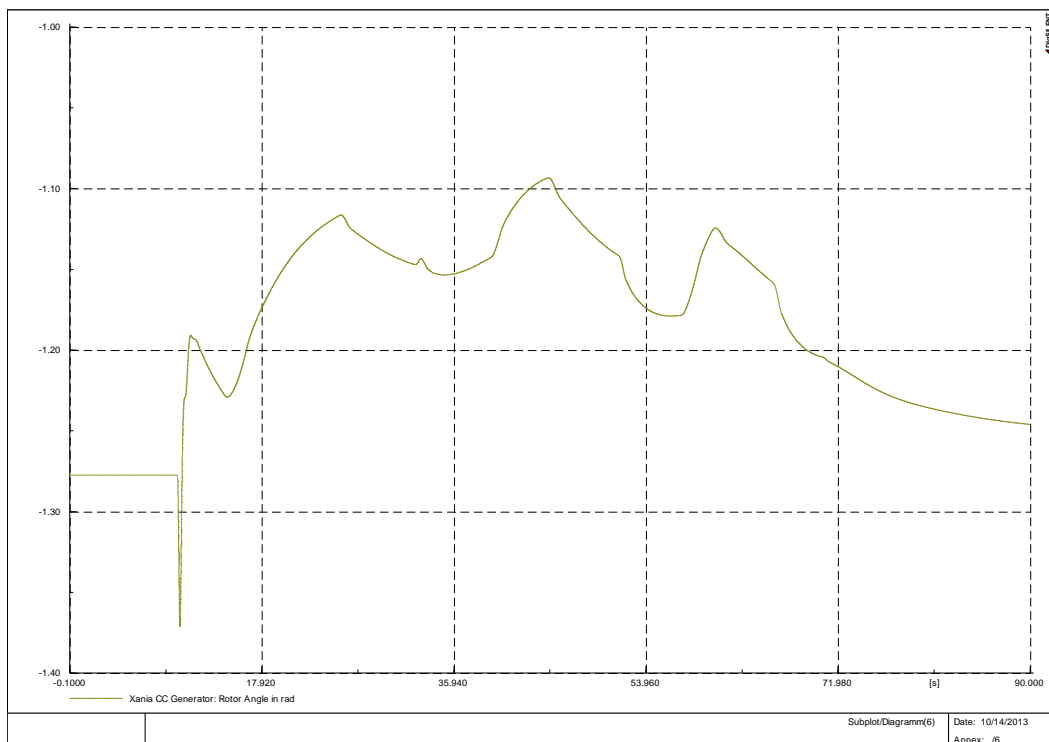


Εικόνα 142: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλου Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 143: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλου Λινοπεραμάτων



Εικόνα 144: Γωνία Δρομέα Συνδεδασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Σε αυτή τη διαταραχή το σύστημα είναι σε θέση να επαναφέρει την τάση και τη συχνότητα πολύ κοντά στις αρχικές τιμές. Μετά την εκκαθάριση του βραχυκυκλώματος, οι παραγωγές των σταθμών επανέρχονται πολύ γρήγορα, ενώ οι γωνίες των δρομέων επιστρέφουν κοντά στις προηγούμενες τιμές λίγο αργότερα.

Η συχνότητα όμως παρουσιάζει μια μεγάλη ταλάντωση φτάνοντας μέχρι και το 0,91 αμ (45.5 Hz), που δεν αποτελεί ικανοποιητική ποιότητα ισχύος. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι το σενάριο αυτό έχει πολύ λιγότερους σταθμούς σε λειτουργία, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αυτή την αστάθεια της συχνότητας, σε αντιδιαστολή με το αντίστοιχο σφάλμα στο σενάριο 1, όπου η ταλάντωση είναι πολύ μικρότερη και επανέρχεται ισορροπία πολύ πιο γρήγορα.

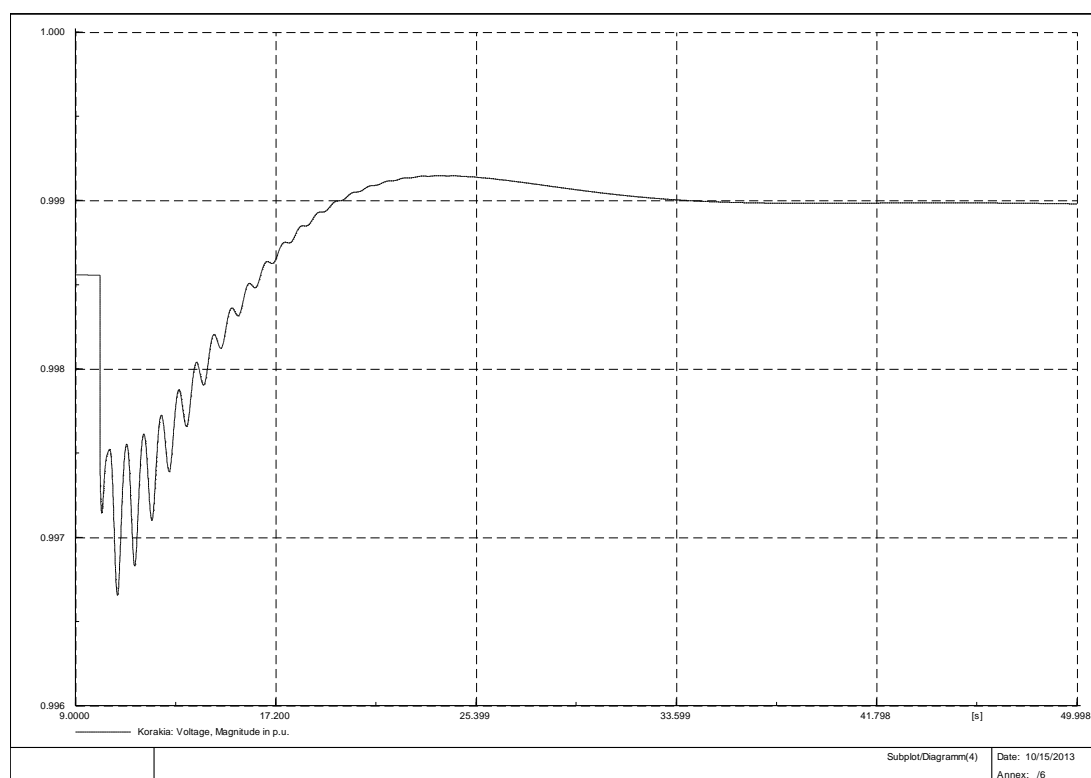
Ένας άλλος παράγοντας, όπως είπαμε και στο σενάριο 2, είναι πως η ισχύς που παρήγαγαν τα τρία αιολικά πάρκα που βγαίνουν εκτός είναι πολύ μεγάλη για να μπορέσουν οι σταθμοί να την καλύψουν και να επαναφέρουν ομαλά τη συχνότητα. Αυτό φαίνεται κι από τις παραγωγές τους.

6.2 Λειτουργία με διασύνδεση και με κανονική παραγωγή στο νησί

Στην παράγραφο αυτή εξετάζουμε τη λειτουργία της Κρήτης με διασύνδεση, χωρίς όμως να αλλάξουμε κάτι όσον αφορά τη συνήθη παραγωγή των σταθμών του νησιού. Παρουσιάζεται η τάση στο ζυγό σύνδεσης (Κορακιά) η συχνότητα του συστήματος, η συνεισφορά ενεργού από τη διασύνδεση και οι παραγωγές των σταθμών του νησιού. Επιπλέον, όπως και στην προηγούμενη παράγραφο, στα βραχυκυκλώματα παρατίθενται οι γωνίες δρομέα των σταθμών σε λειτουργία.

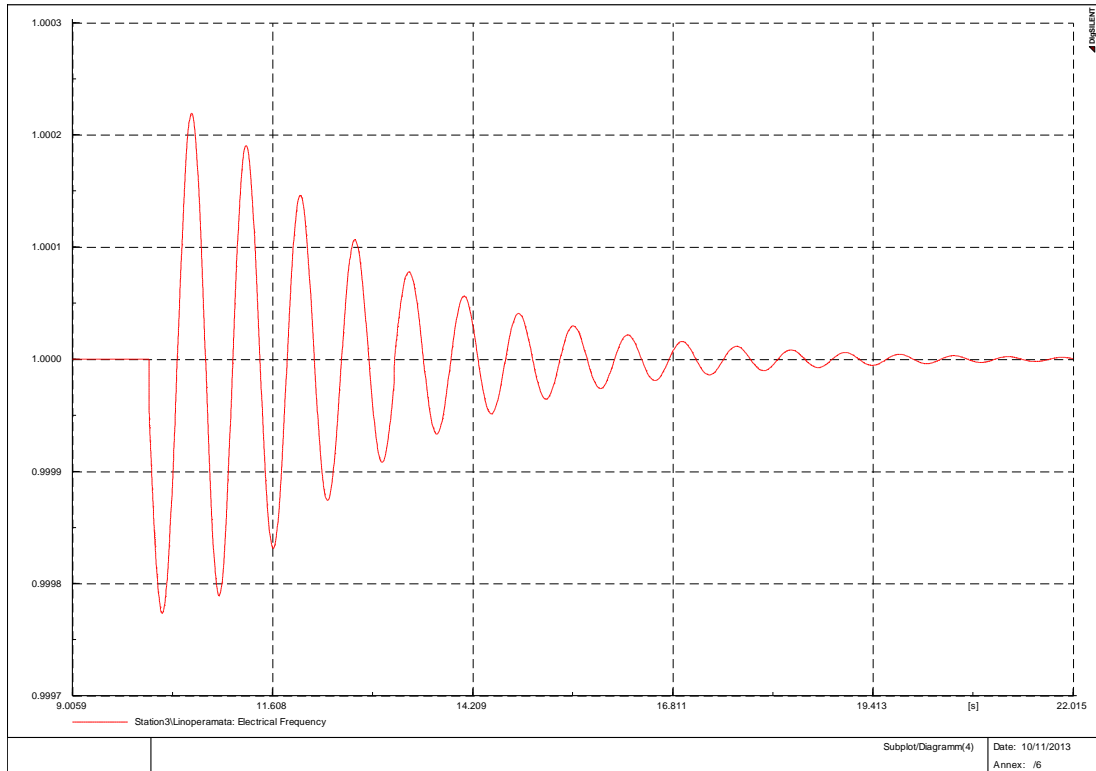
6.2.1 Σενάριο 1

Διαταραχή 1 : Απώλεια σταθμού συνδυασμένο κύκλου Χανίων

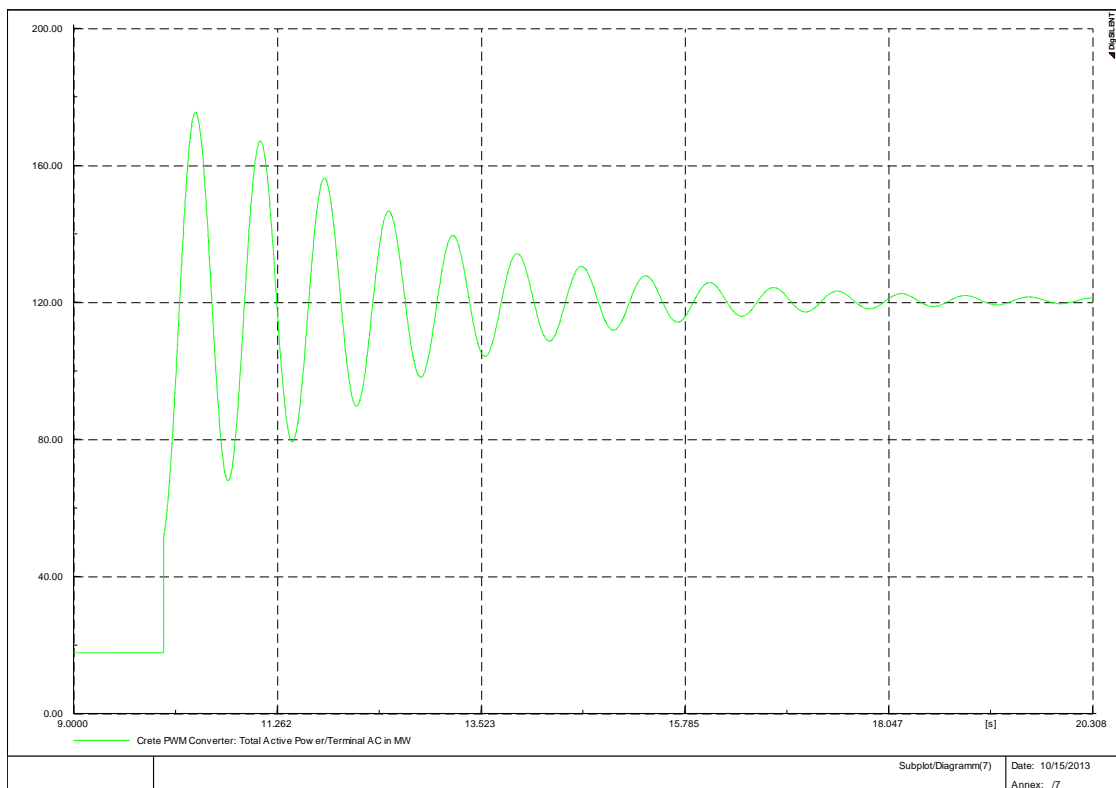


Εικόνα 145: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

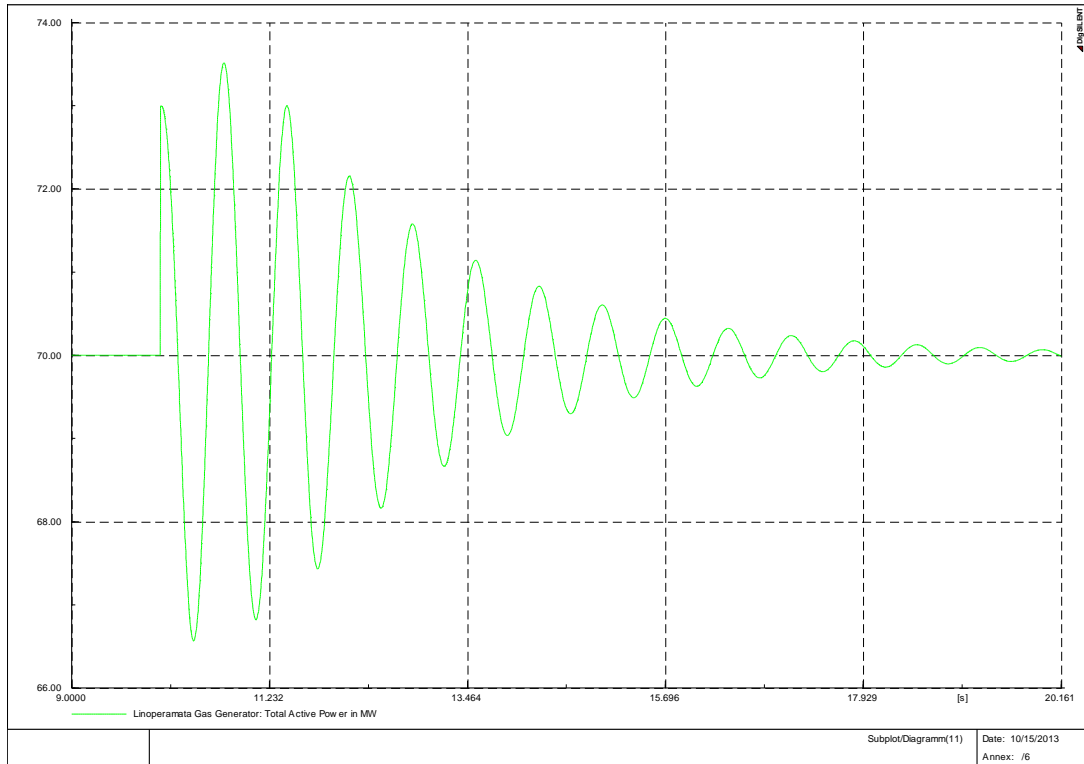


Εικόνα 146: Συχνότητα Συστήματος

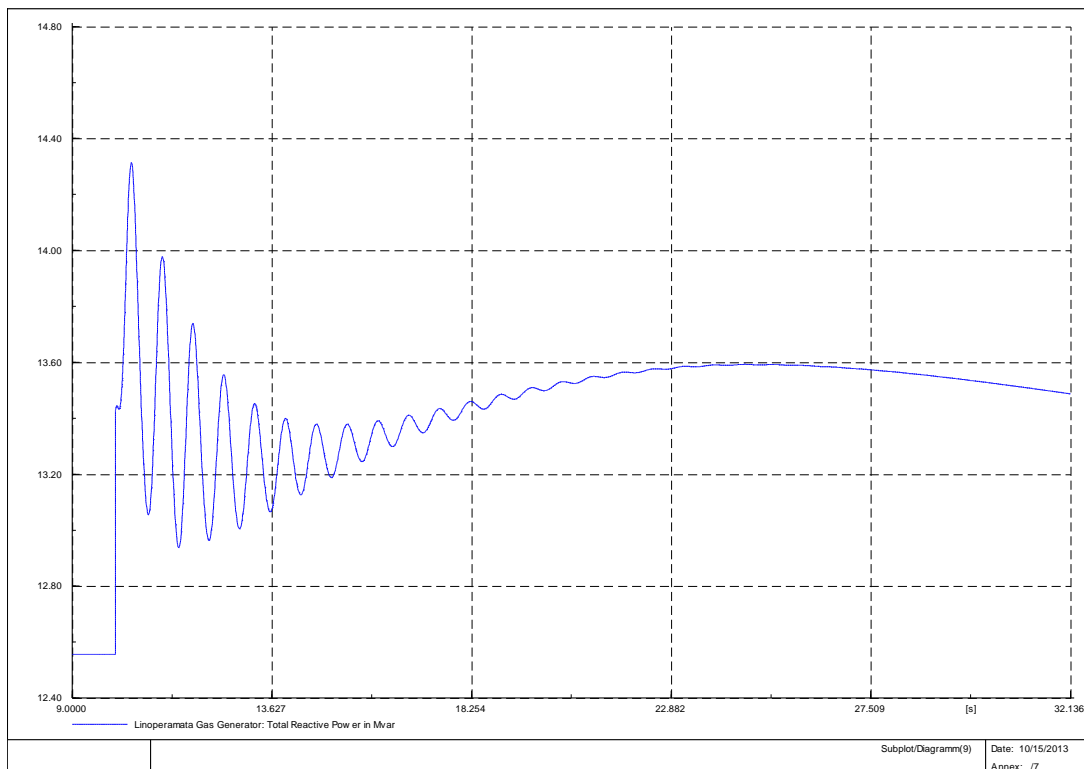


Εικόνα 147: Ενεργός Ισχύς διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

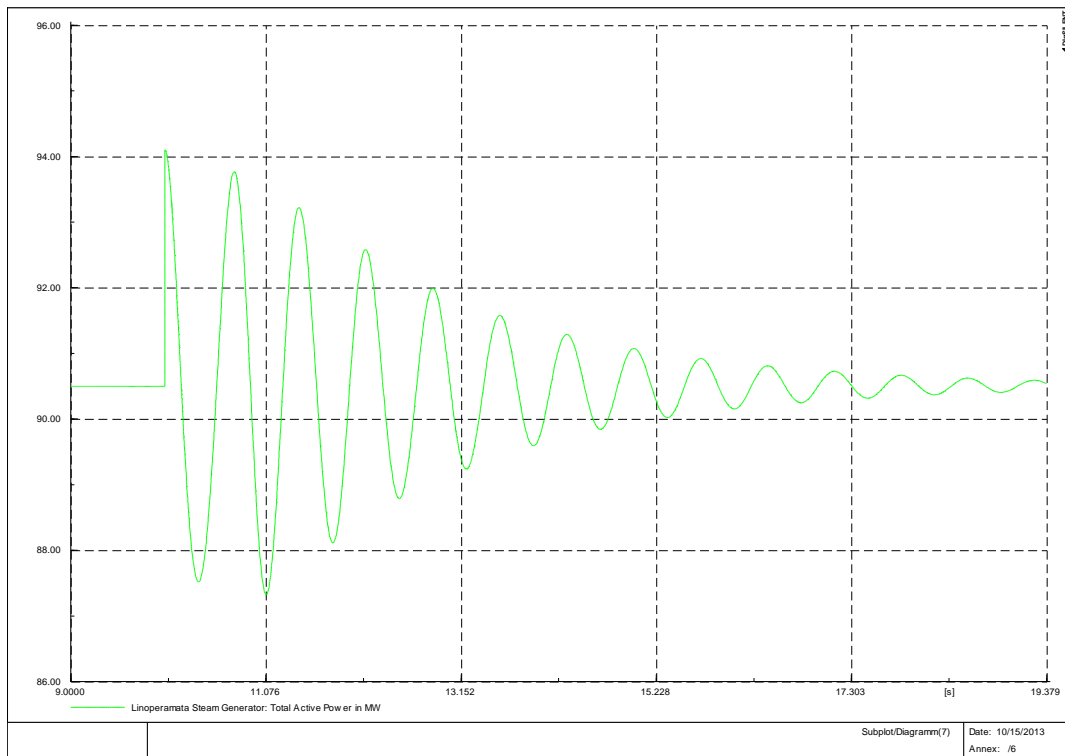


Εικόνα 148: Ενεργός Ισχύς Αεροστροβίλων Λινοπεραμάτων

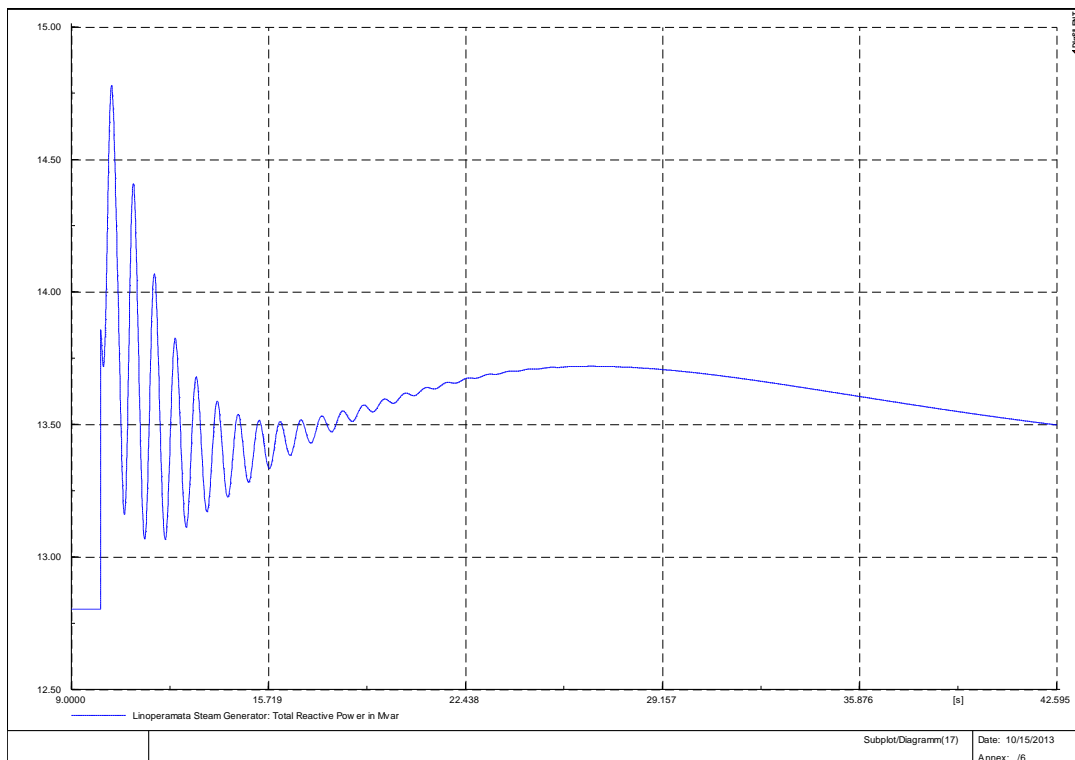


Εικόνα 149: Άεργος Ισχύς Αεροστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

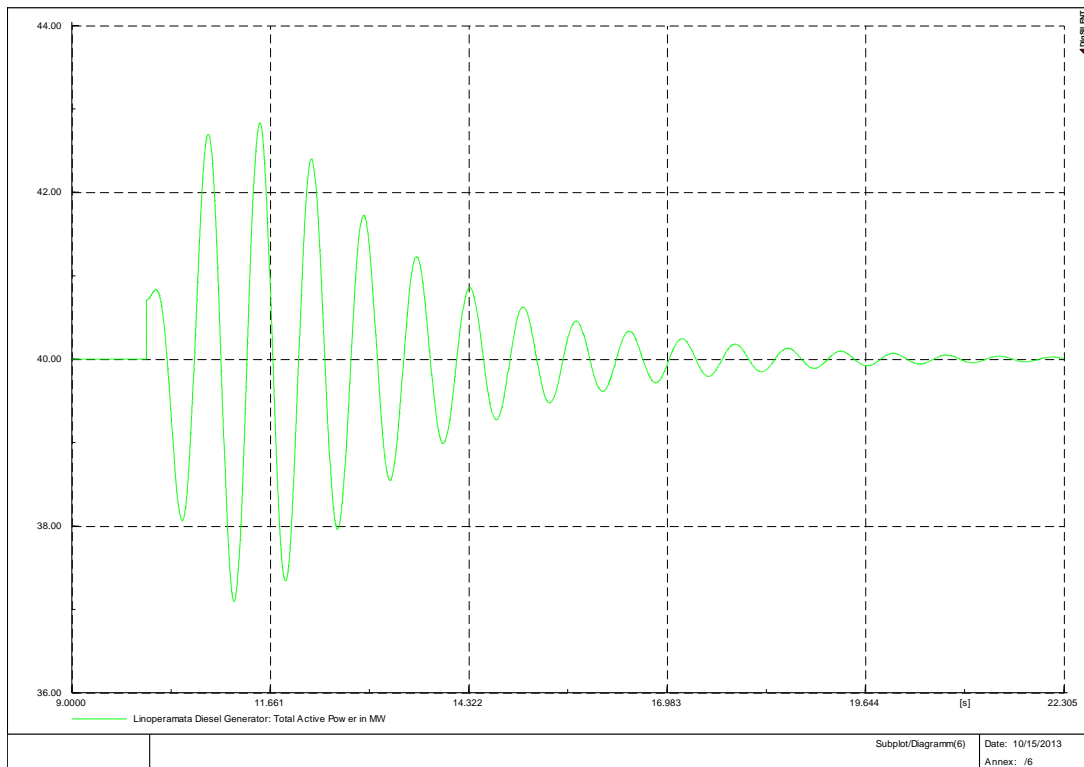


Εικόνα 150: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

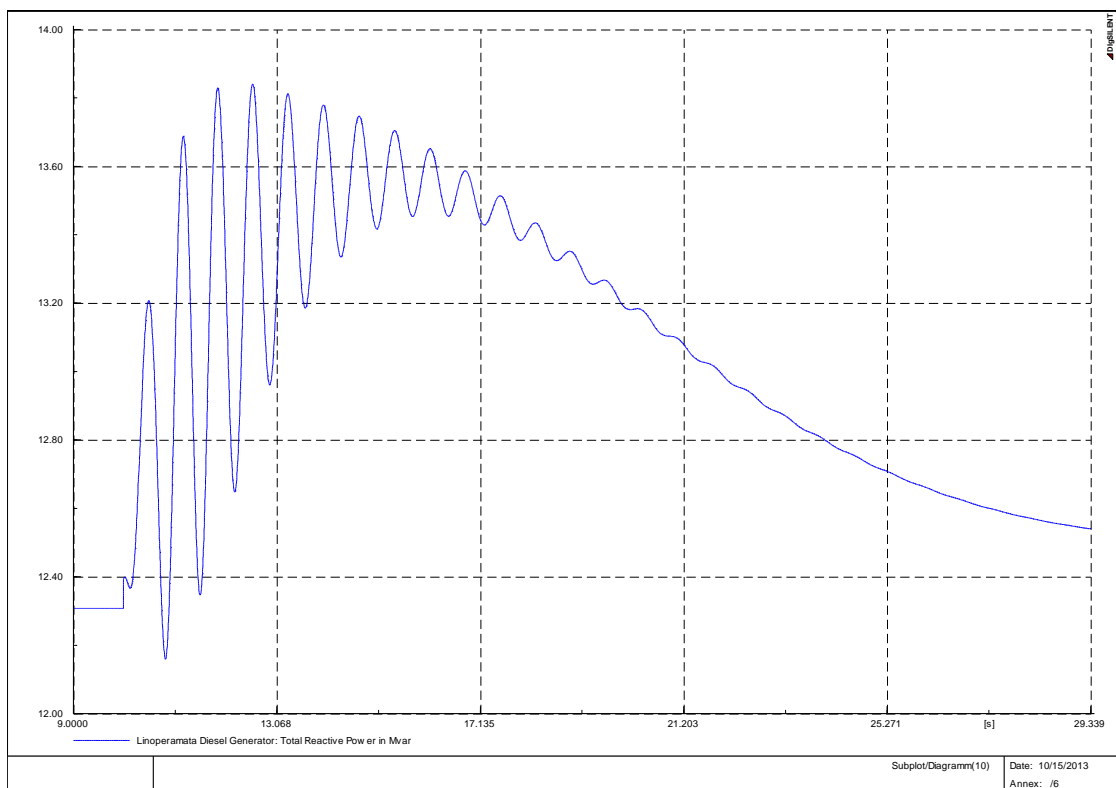


Εικόνα 151: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

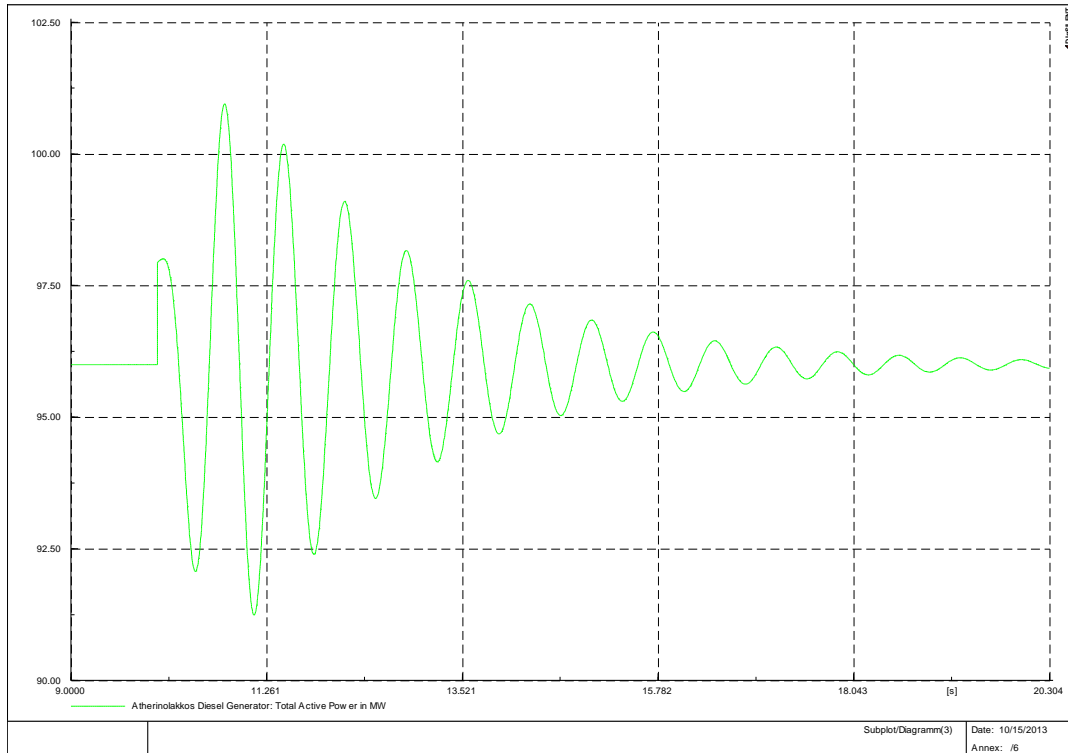


Εικόνα 152: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

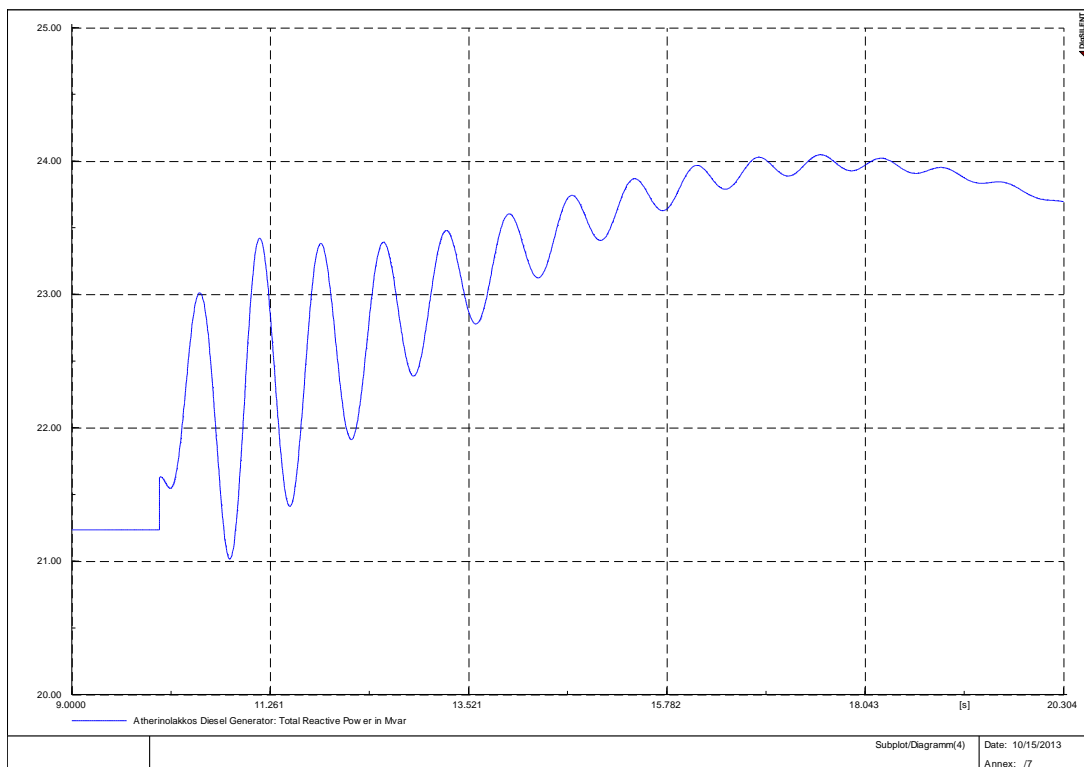


Εικόνα 153: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

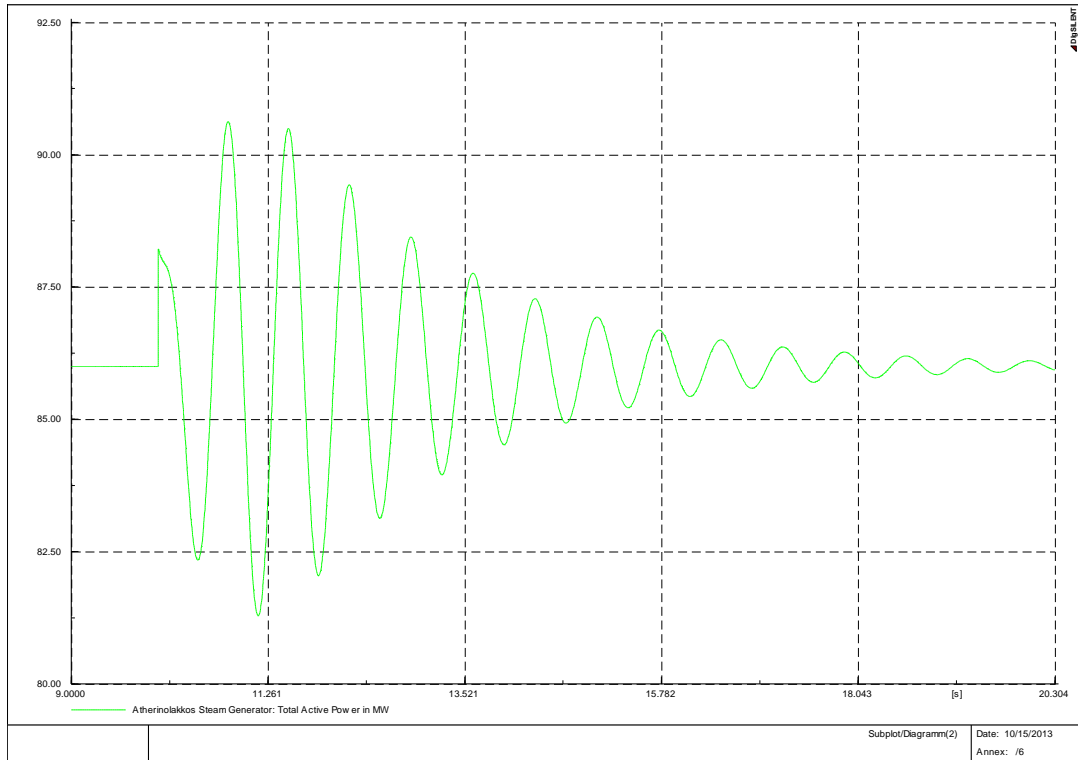


Εικόνα 154: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθερινόλακκου

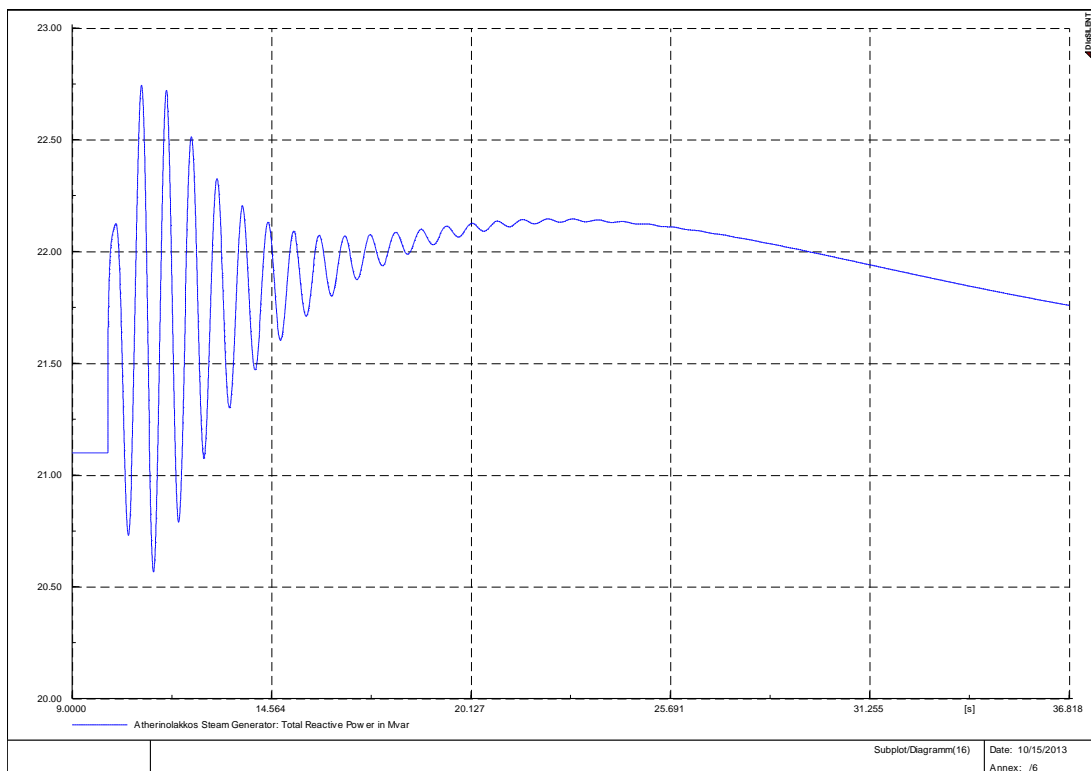


Εικόνα 155: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

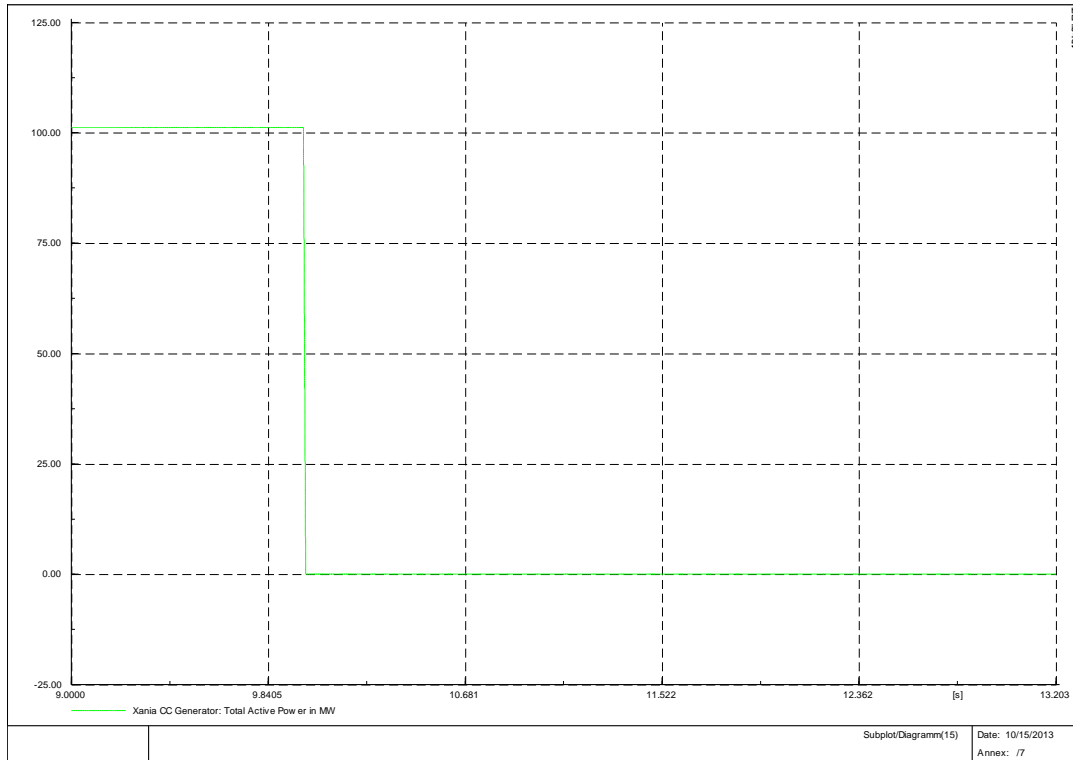


Εικόνα 156: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

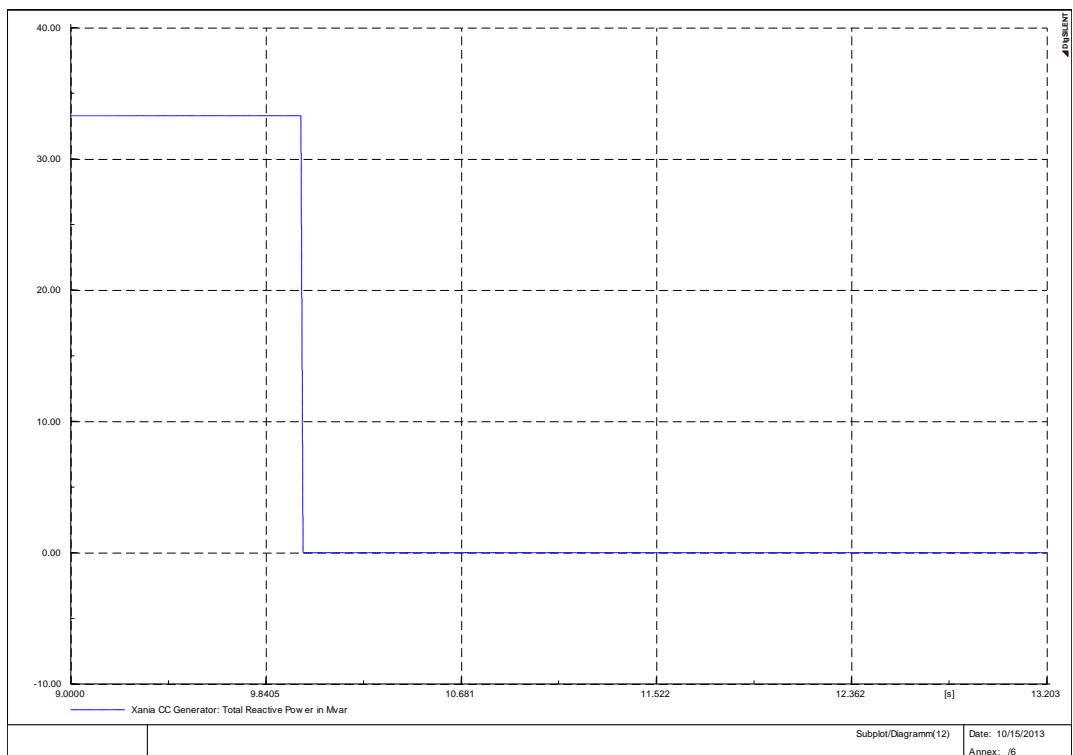


Εικόνα 157: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

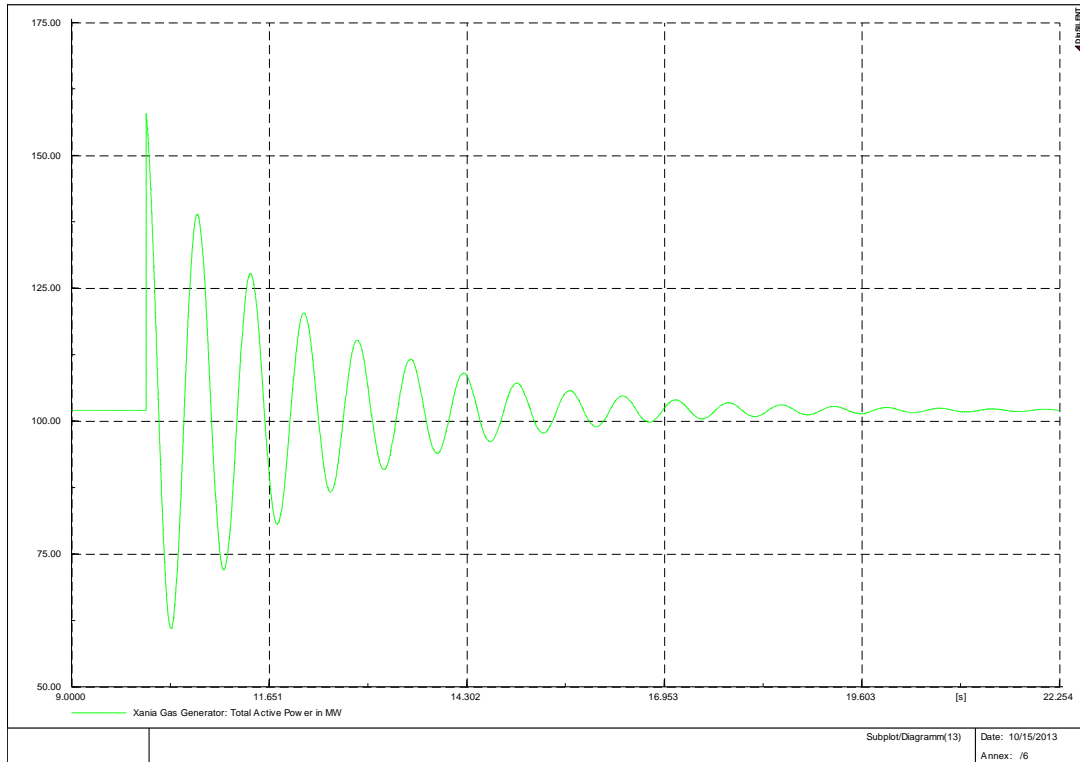


Εικόνα 158: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

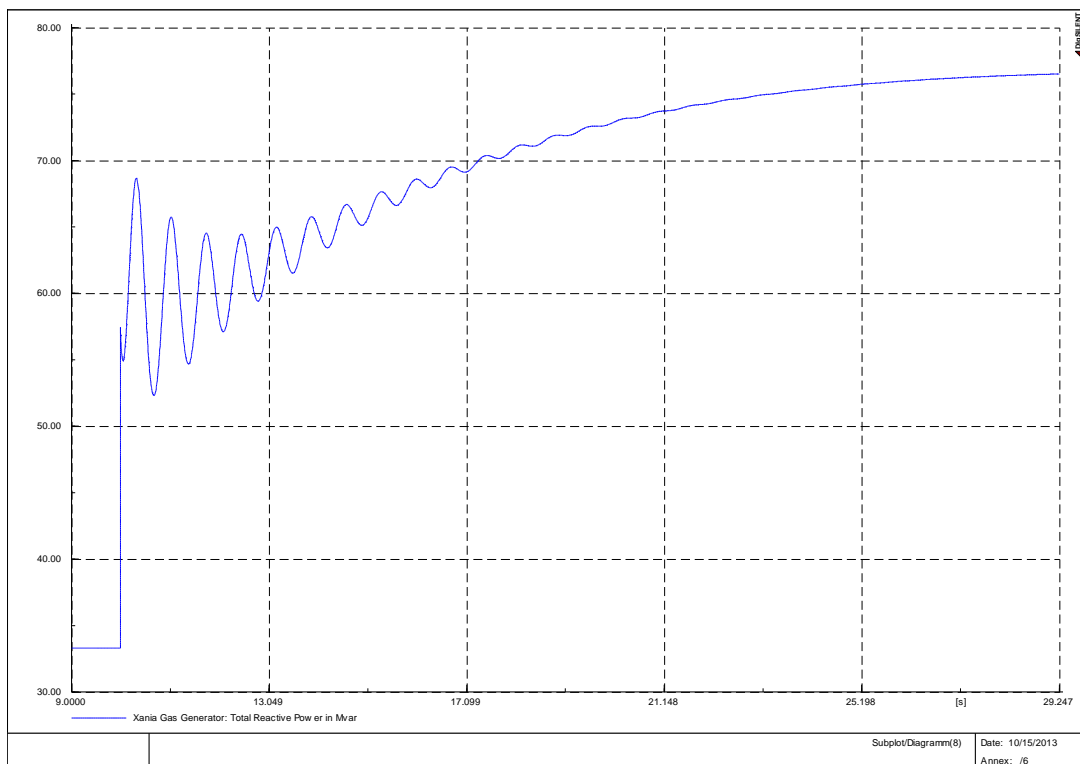


Εικόνα 159: Αεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 160: Ενεργός Ισχύς Αεροστροβίλων Χανίων

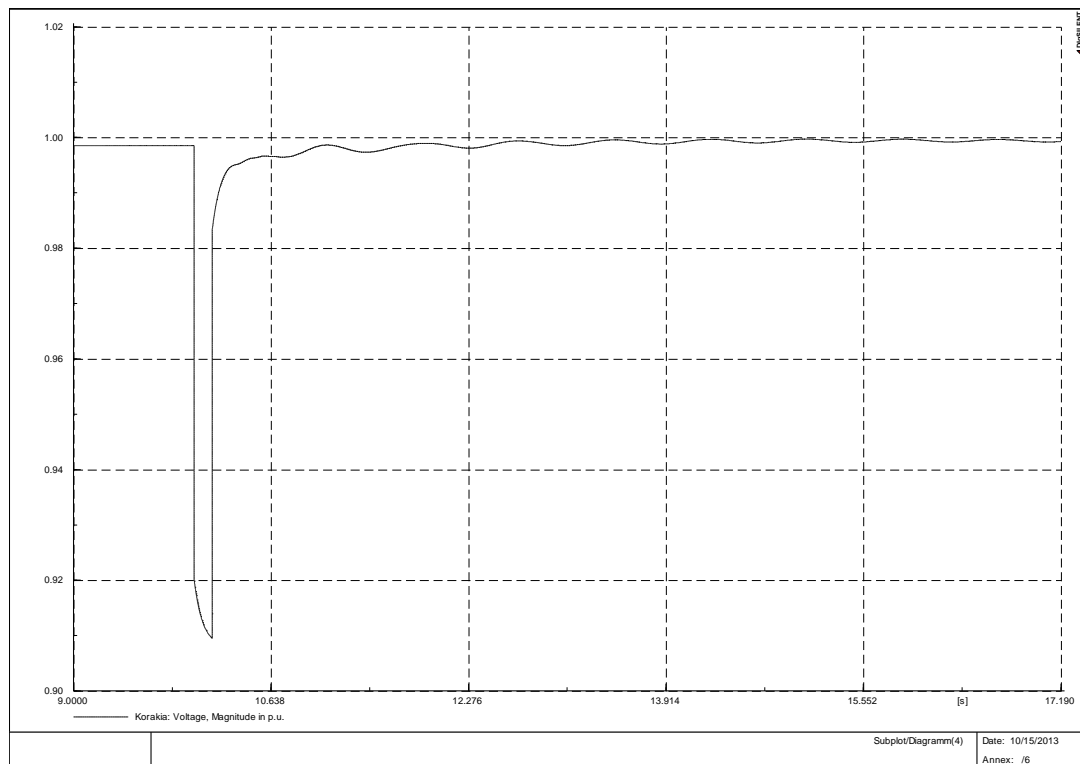


Εικόνα 161: Άεργος Ισχύς Αεροστροβίλων Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

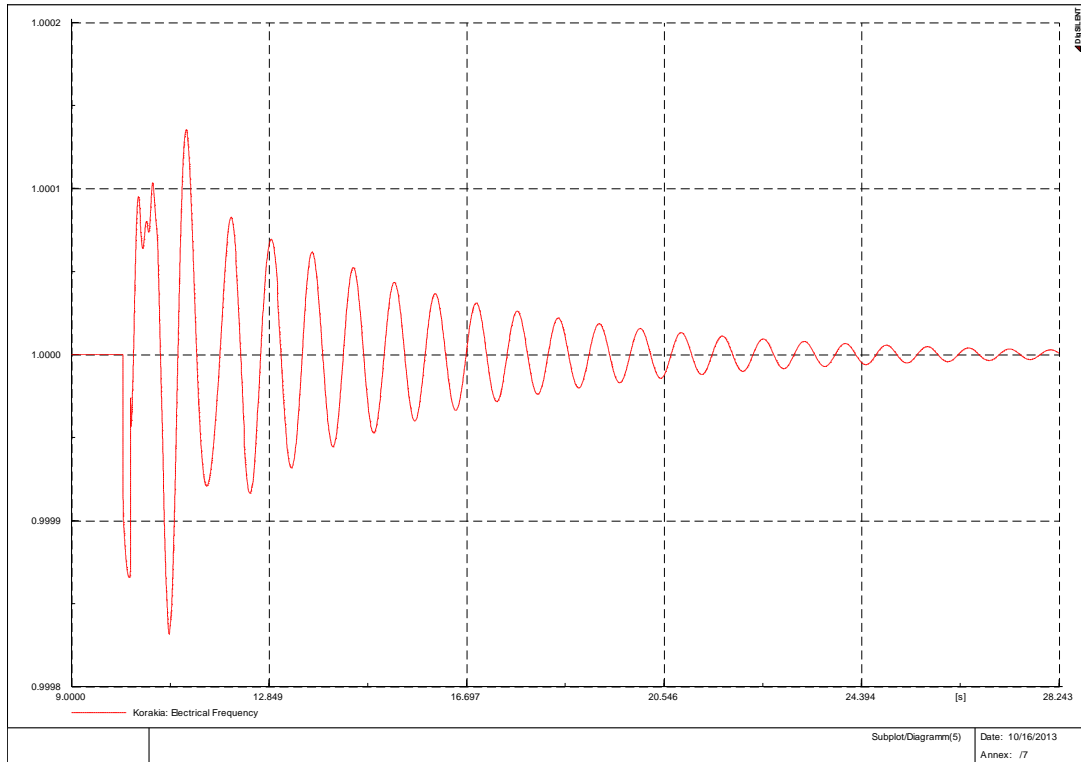
Είναι προφανές πως το συγκεκριμένο σενάριο αντιμετωπίζει την απώλεια του συνδυασμένου κύκλου πολύ καλύτερα με τη βοήθεια της HVDC διασύνδεσης. Η έλλειψη ενεργού ισχύος από το σταθμό που βγαίνει εκτός καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από τη διασύνδεση, η οποία αποδίδει 120 MW στην Κρήτη. Ως εκ τούτου, η τάση και η συχνότητα παραμένουν στα ίδια επίπεδα και το σύστημα μπορεί να συνεχίσει τη λειτουργία του ακόμη και χωρίς το συνδυασμένο κύκλο. Η συχνότητα φαίνεται να ταλαντώνεται, όμως οι τιμές ανάμεσα στις οποίες παρεμβάλλεται είναι απειροελάχιστες. Στην περίπτωση αυτή καταλήγουμε πως η διασύνδεση είναι απαραίτητη για την απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου.

Διαταραχή 2: Βραχυκύκλωμα στη Σητεία

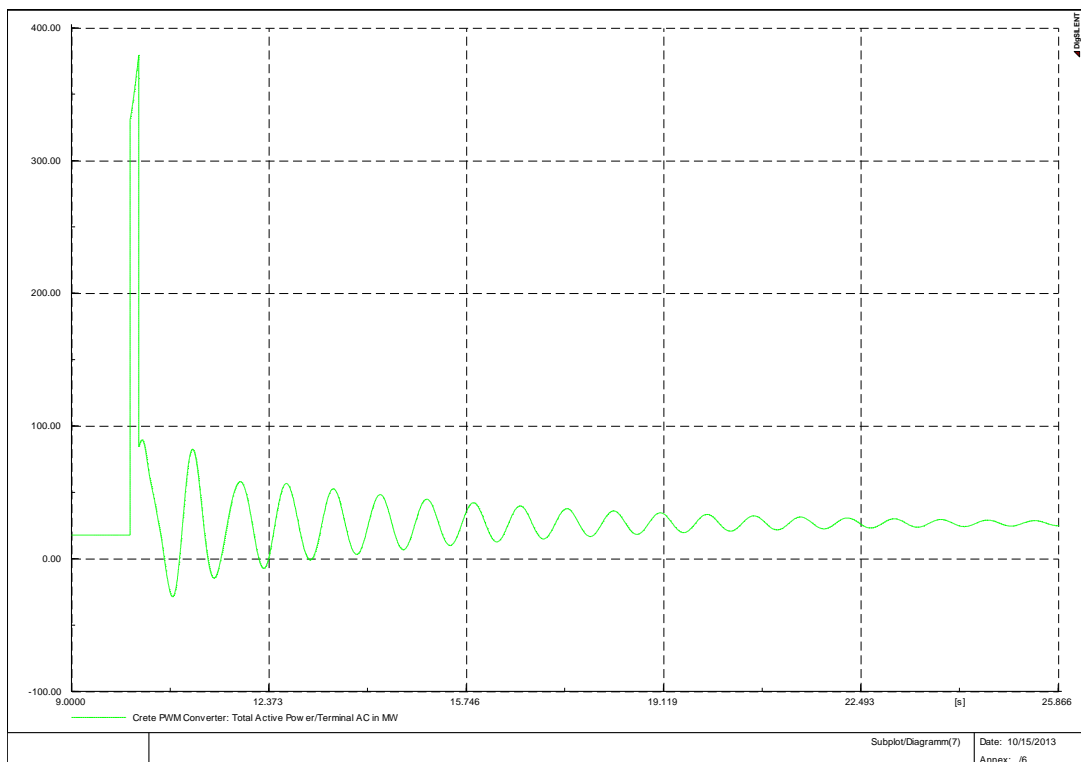


Εικόνα 162: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

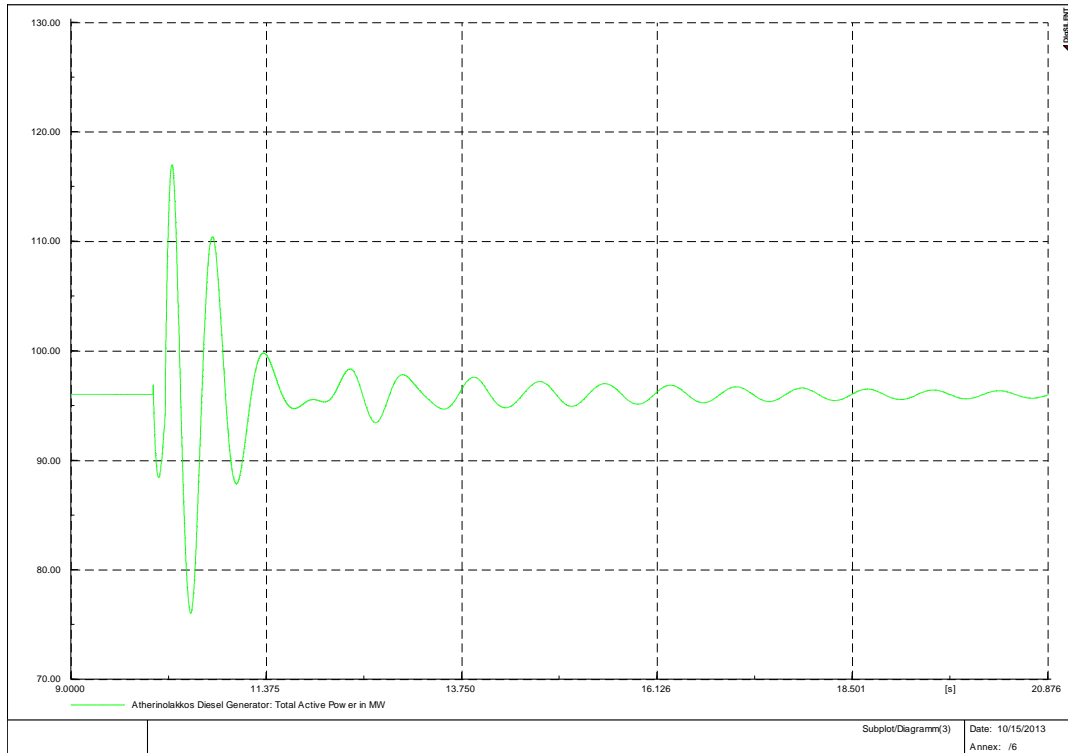


Εικόνα 163: Συχνότητα Συστήματος

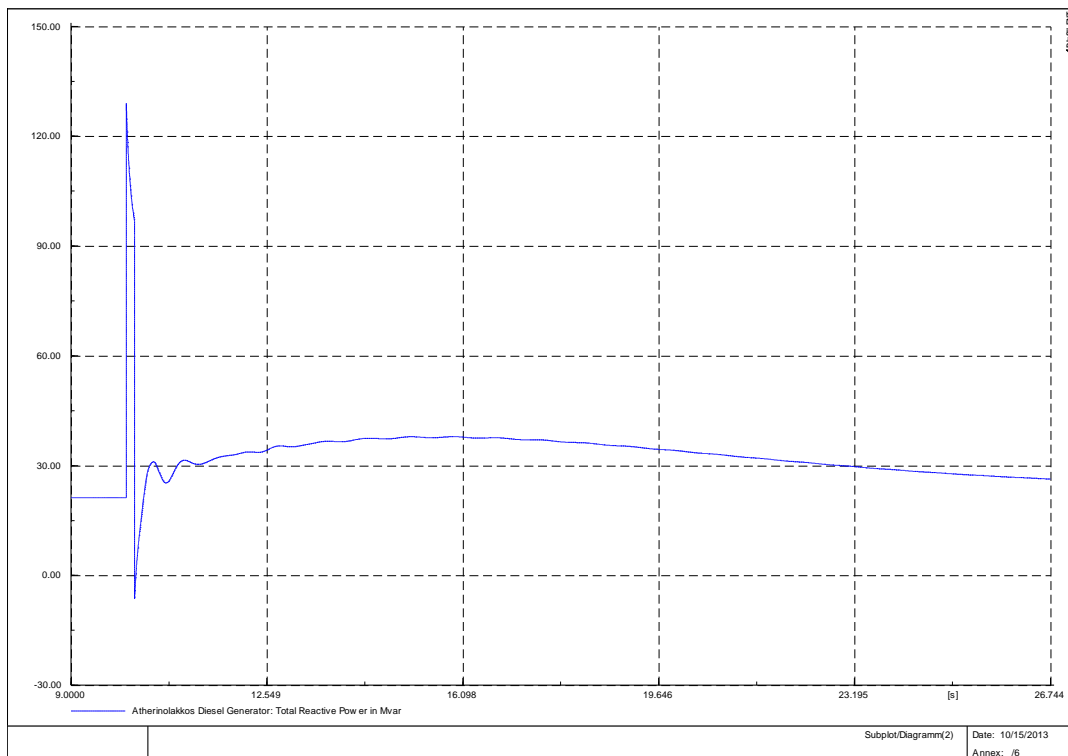


Εικόνα 164: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

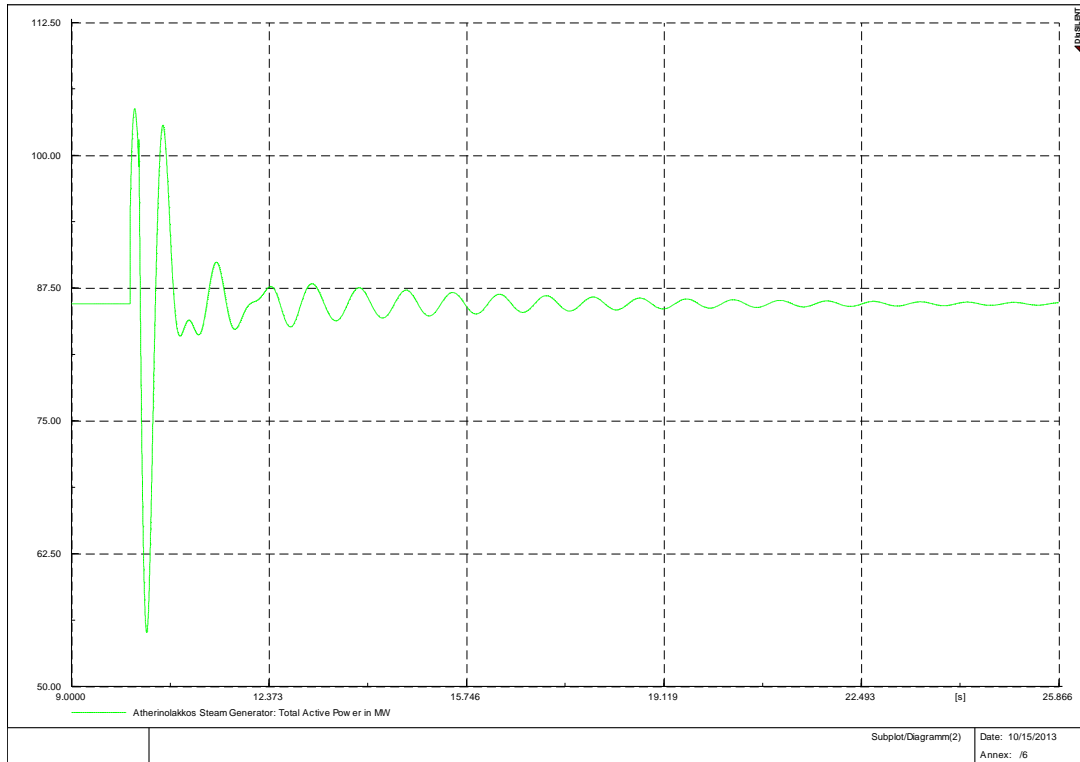


Εικόνα 165: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθερινόλακκου

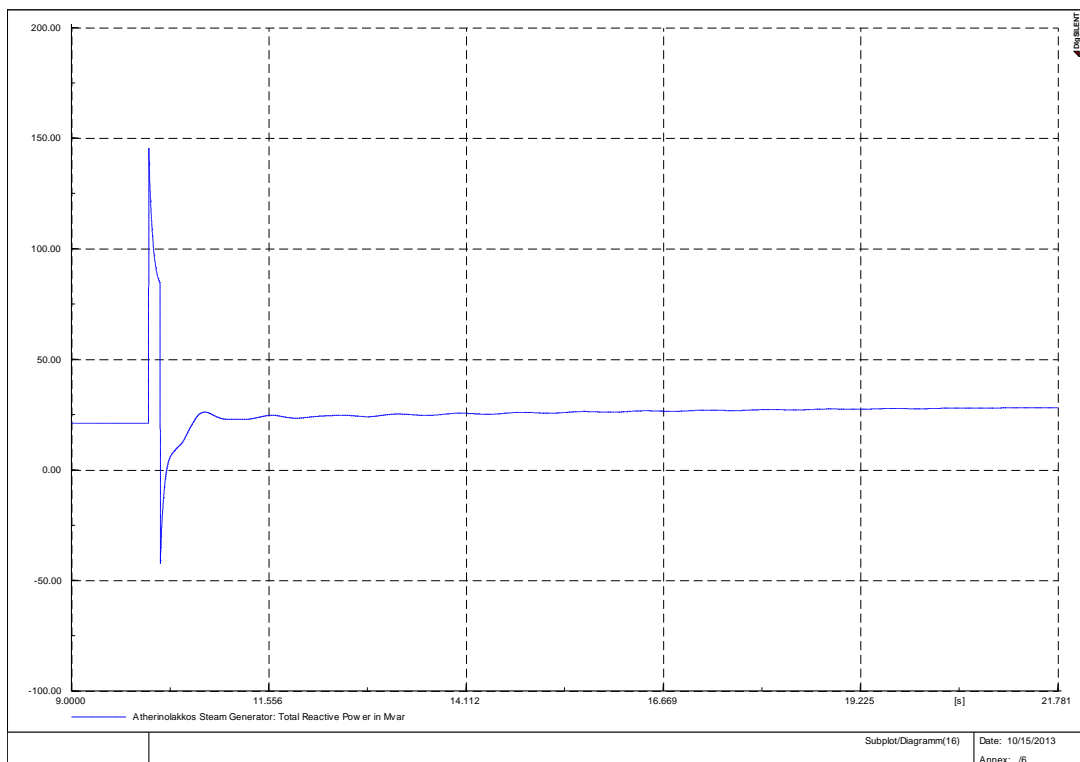


Εικόνα 166: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

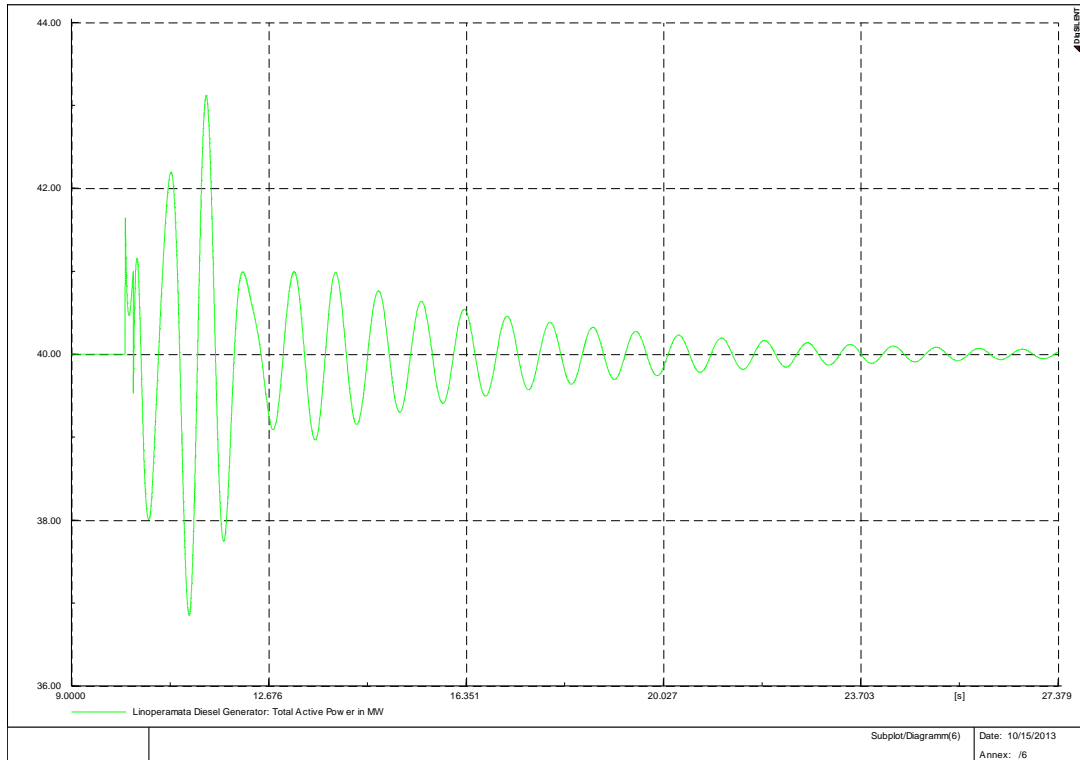


Εικόνα 167: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

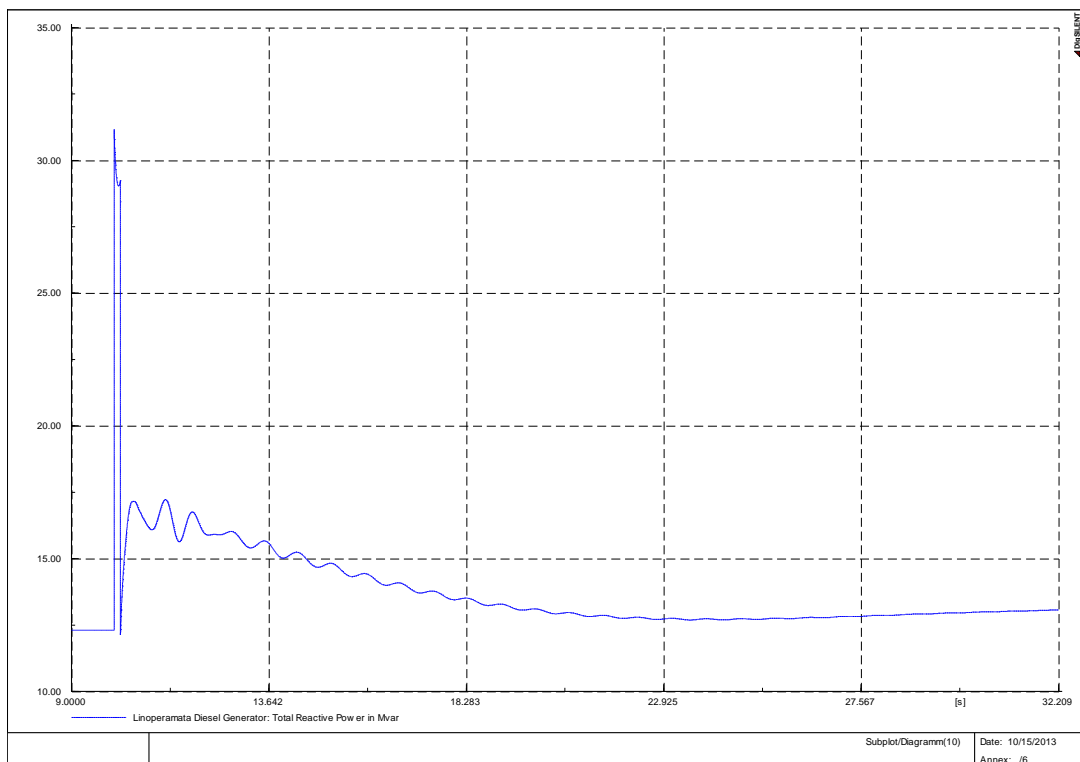


Εικόνα 168: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

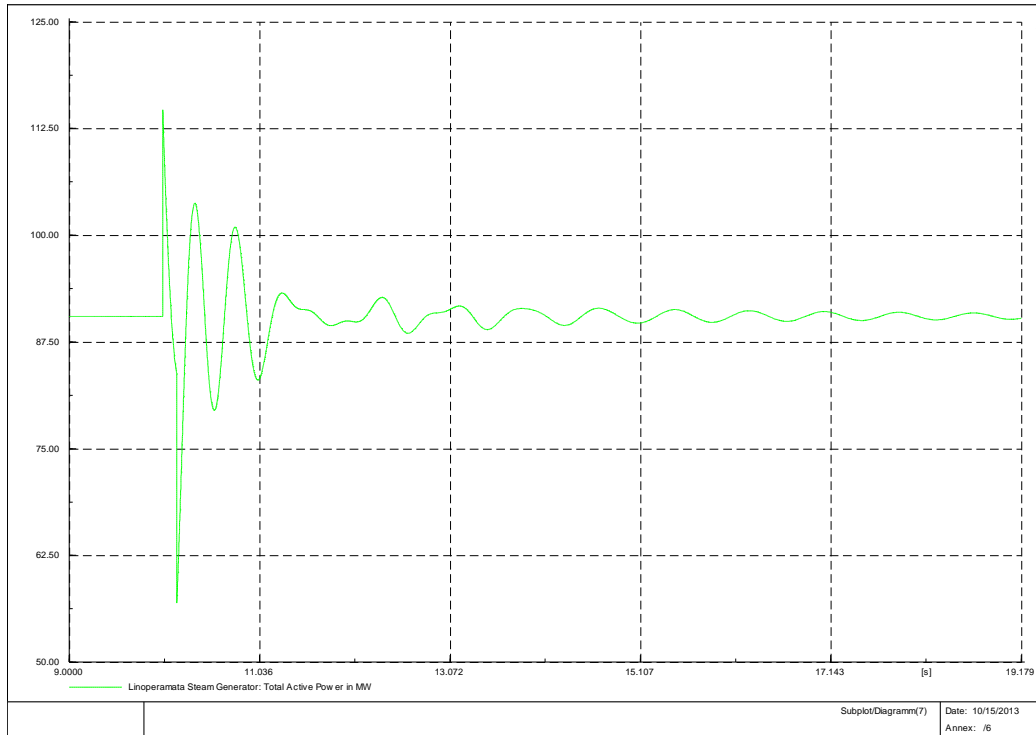


Εικόνα 169: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

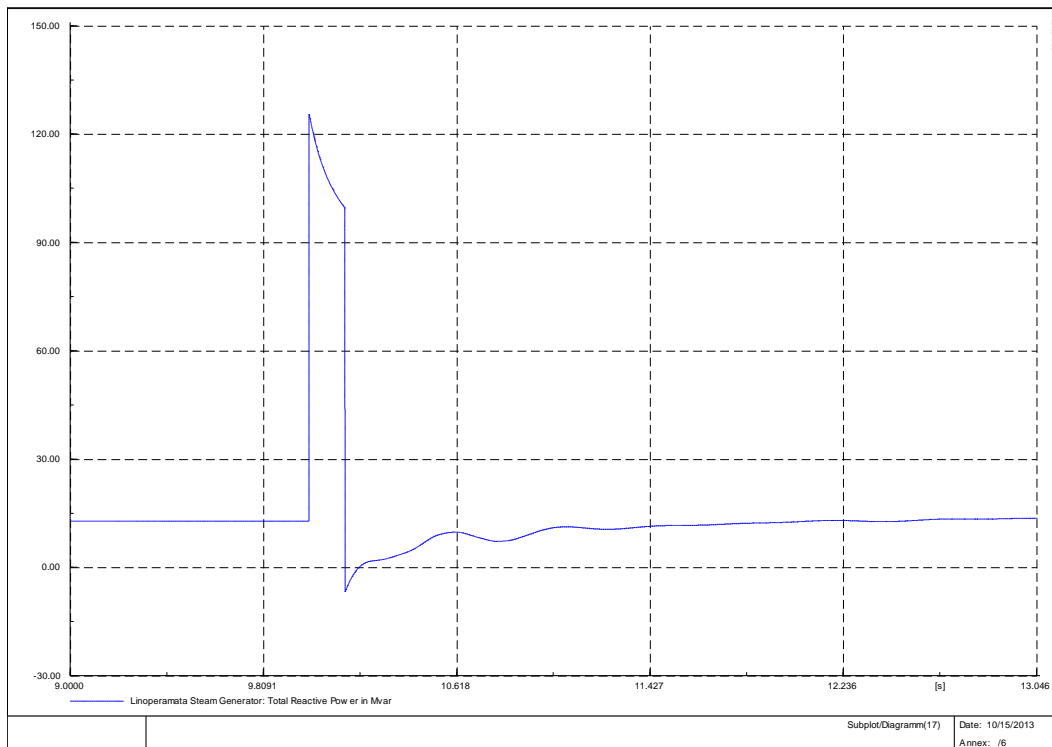


Εικόνα 170: Αεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

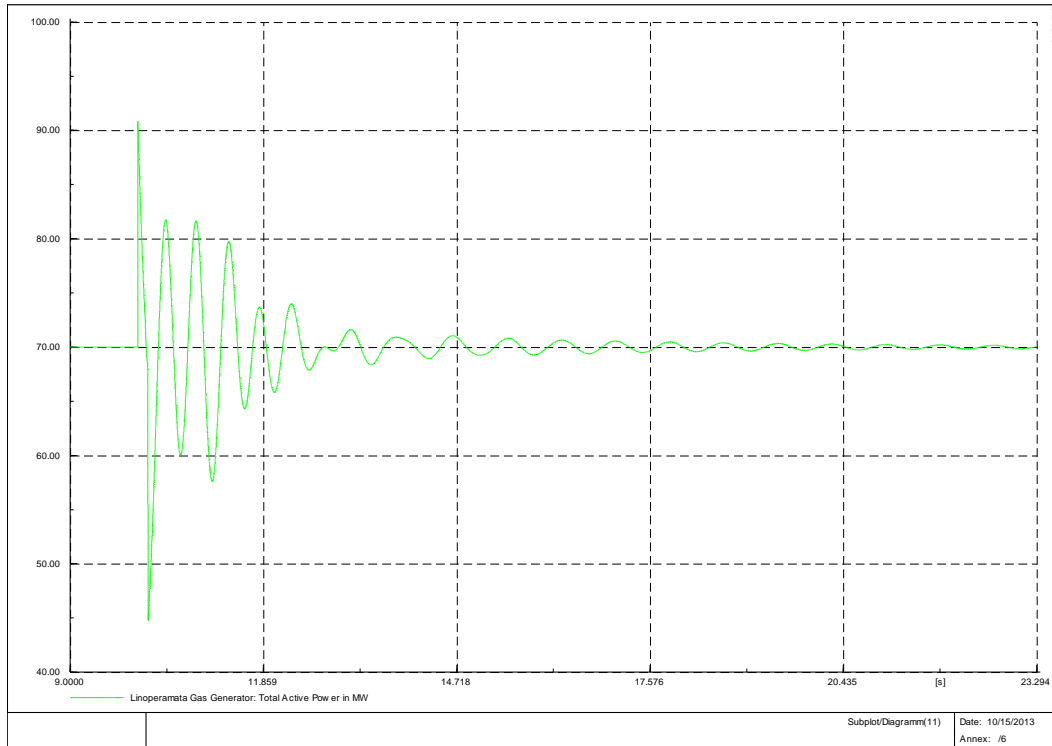


Εικόνα 171: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

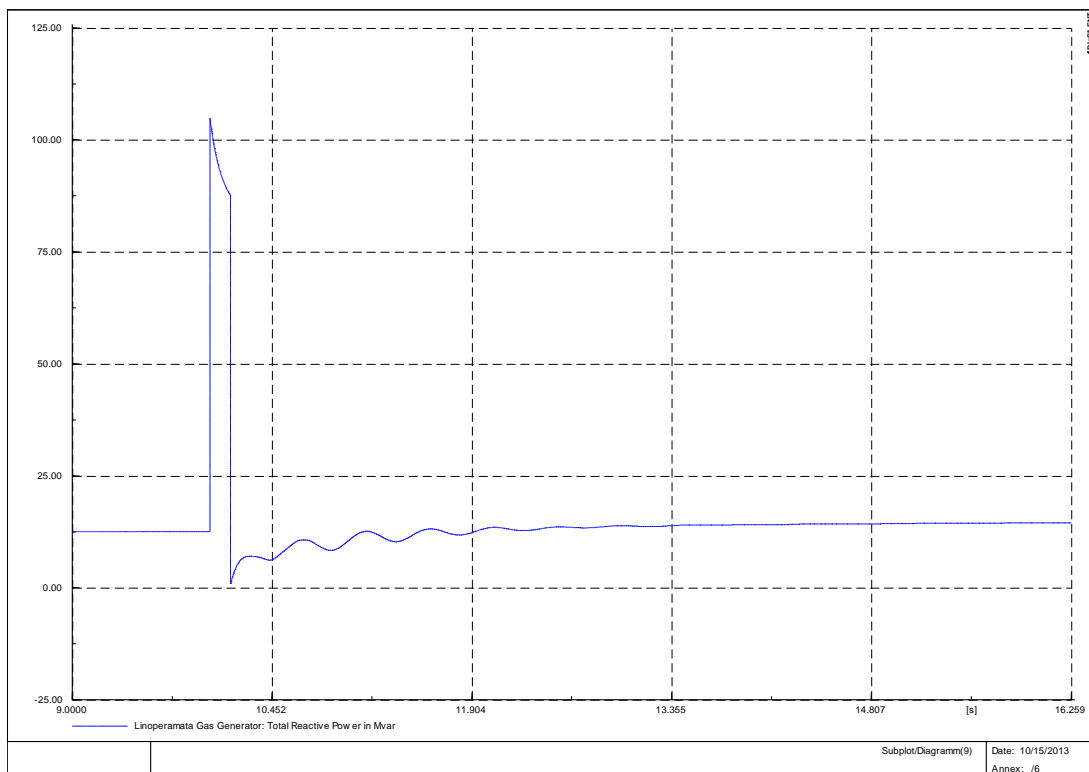


Εικόνα 172: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

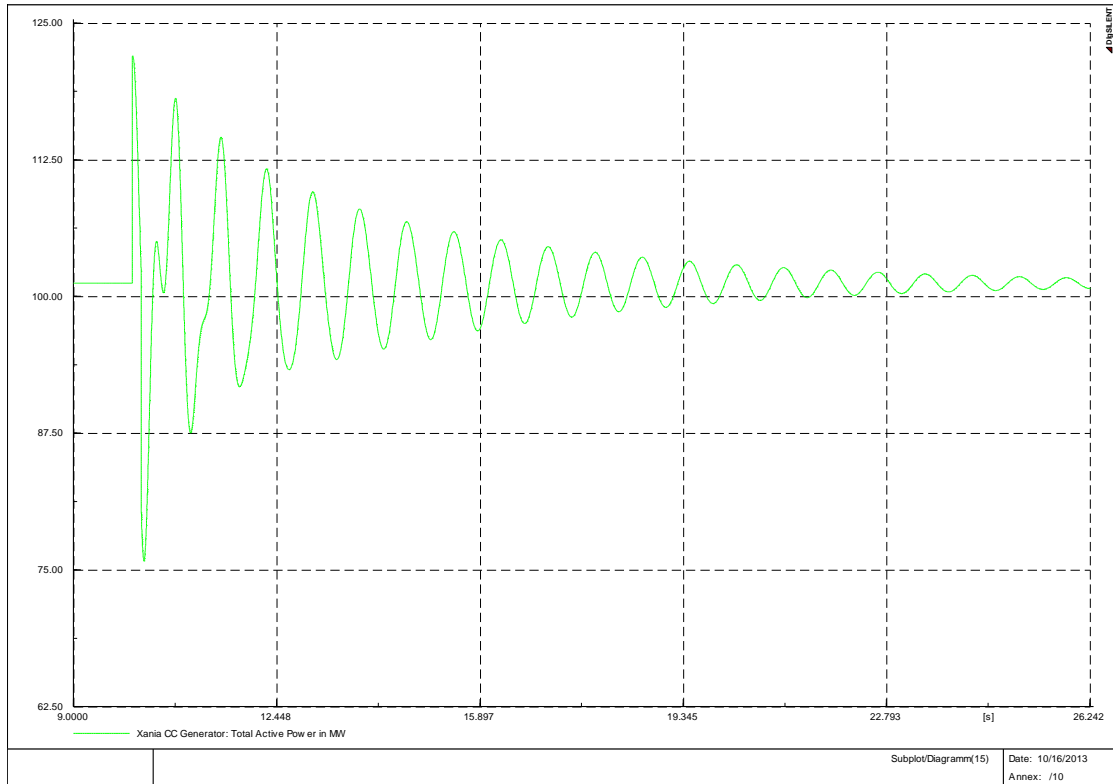


Εικόνα 173: Ενεργός Ισχύς Αεροστροβίλων Λινοπεραμάτων

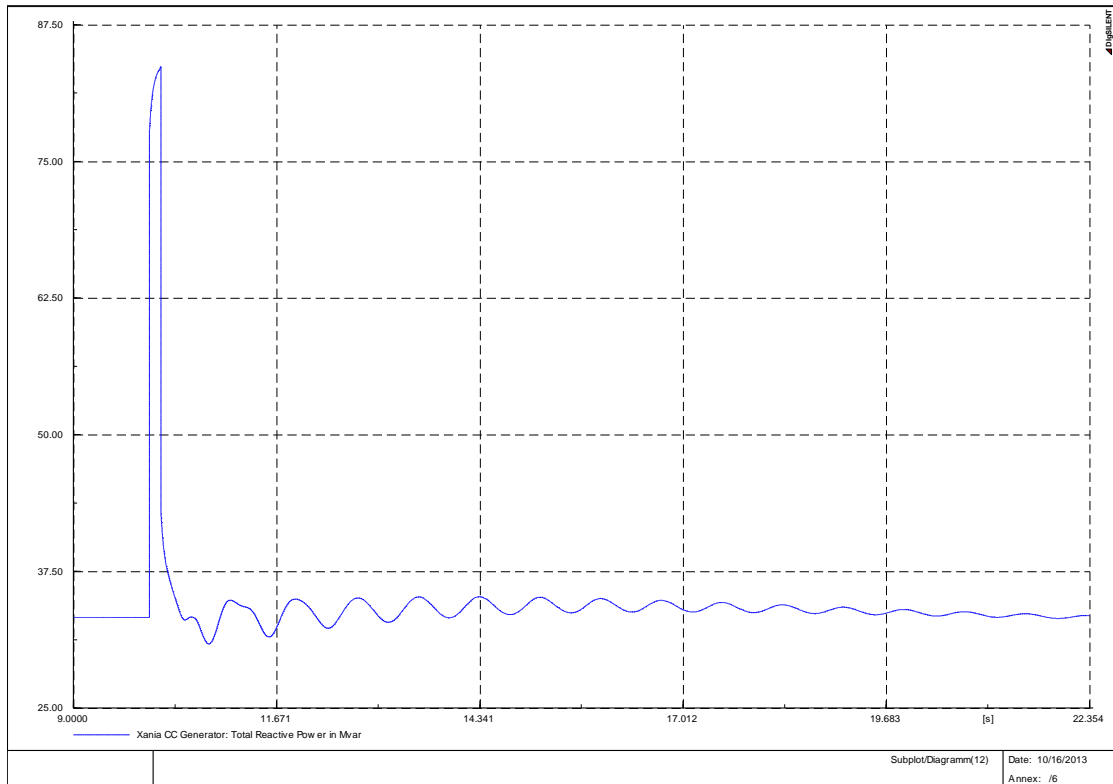


Εικόνα 174: Άεργος Ισχύς Αεροστροβίλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

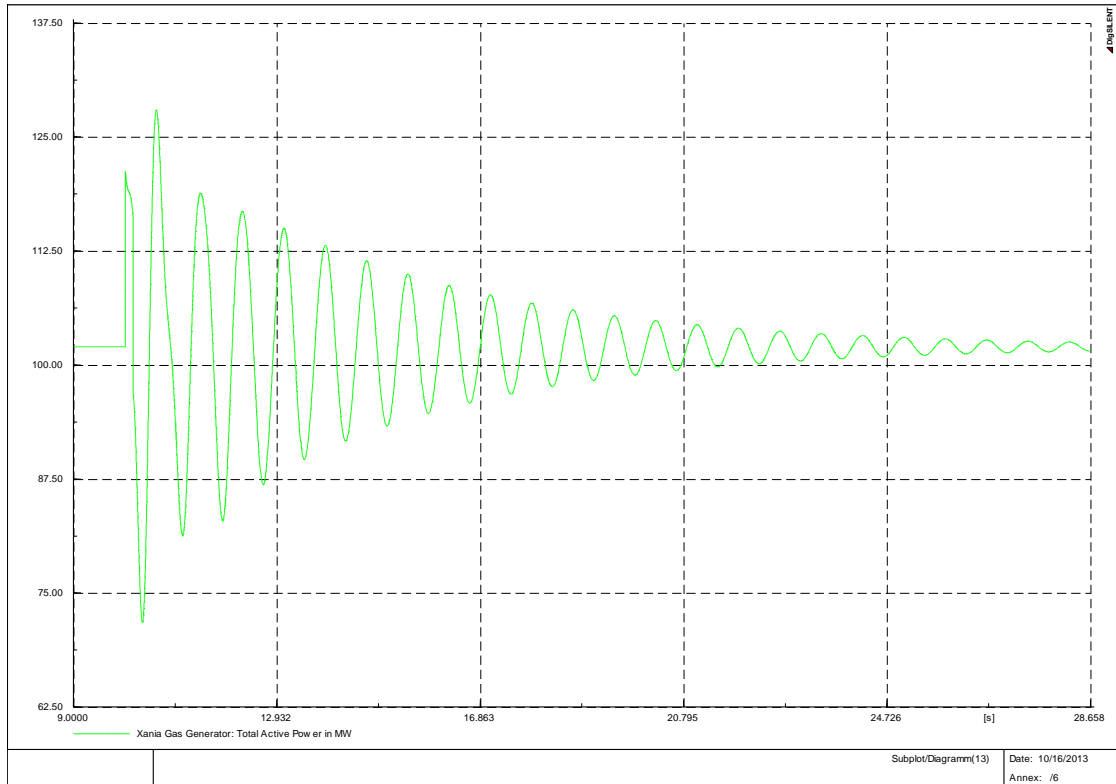


Εικόνα 175: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

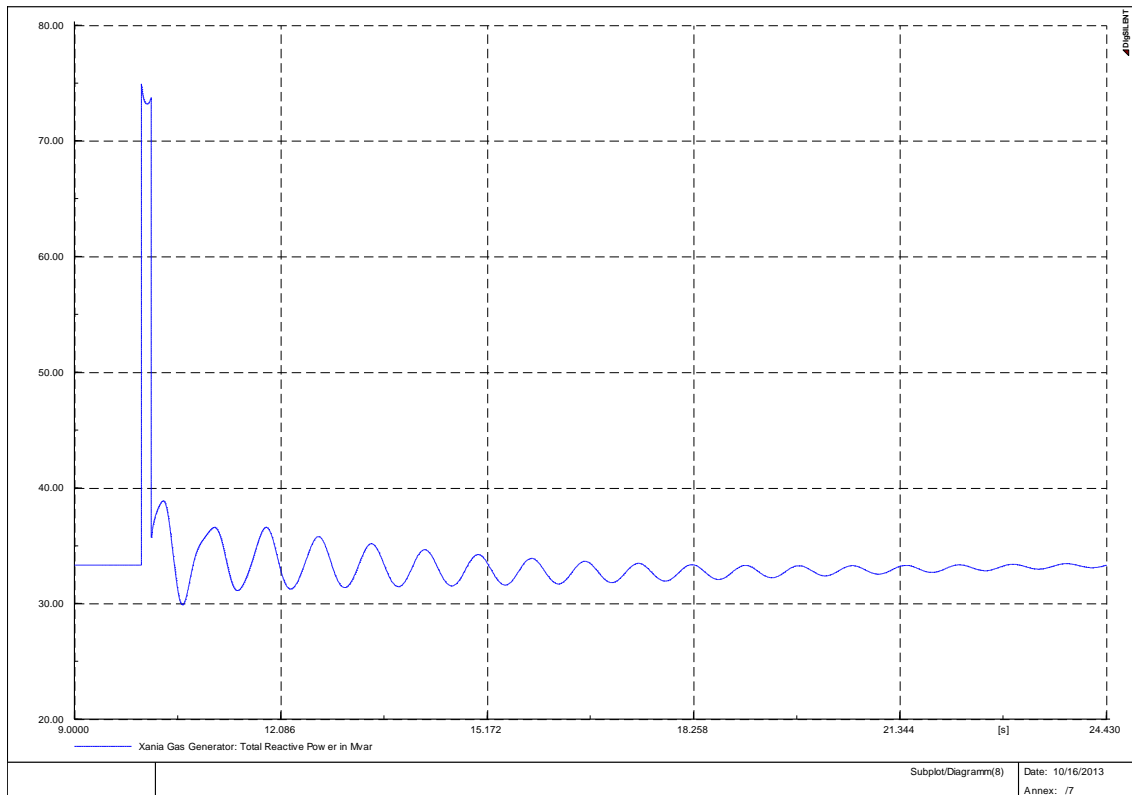


Εικόνα 176: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

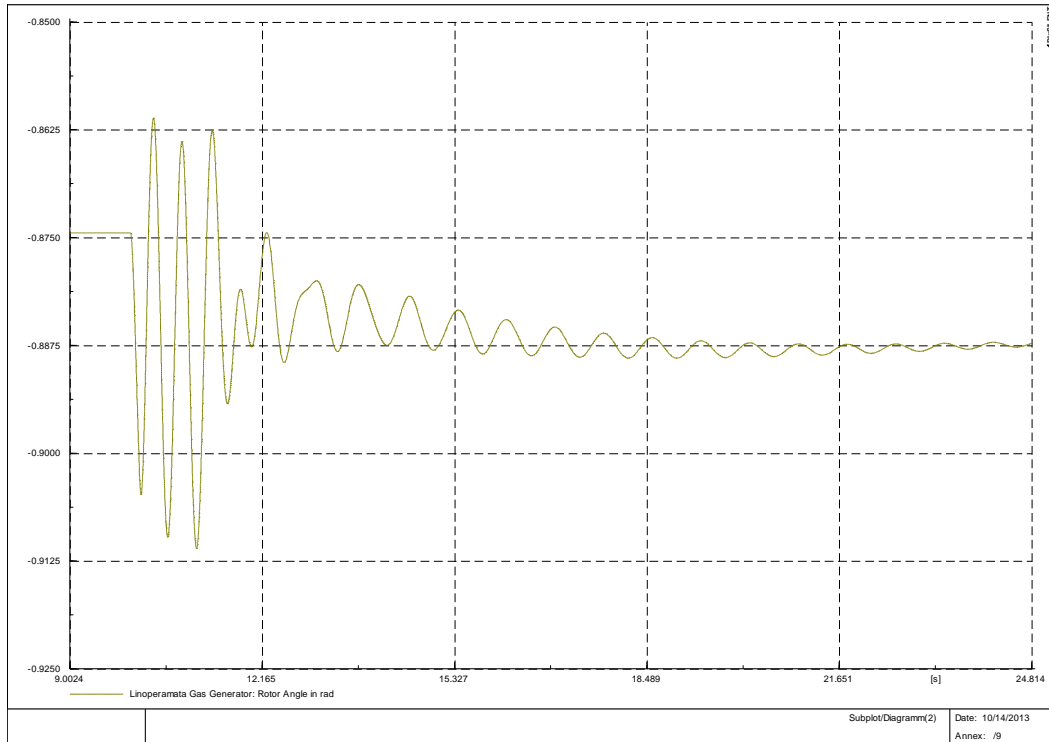


Εικόνα 177: Ενεργός Ισχύς Αεροστρόβιλων Χανίων

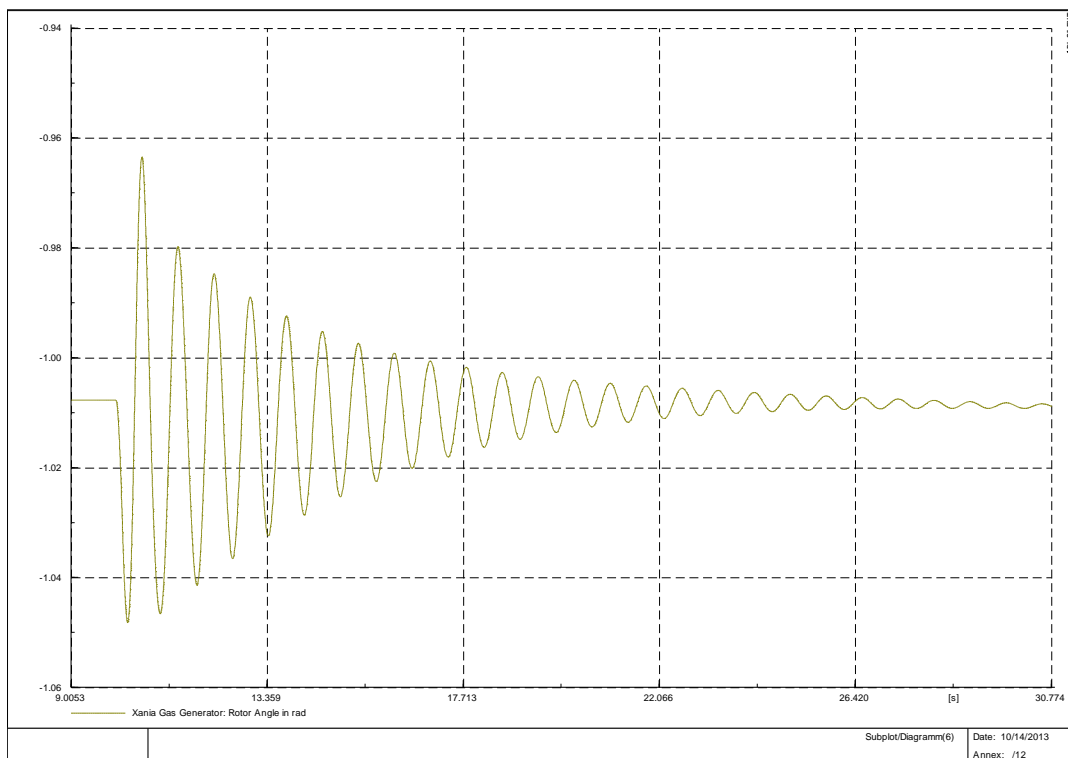


Εικόνα 178: Άεργος Ισχύς Αεροστρόβιλων Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

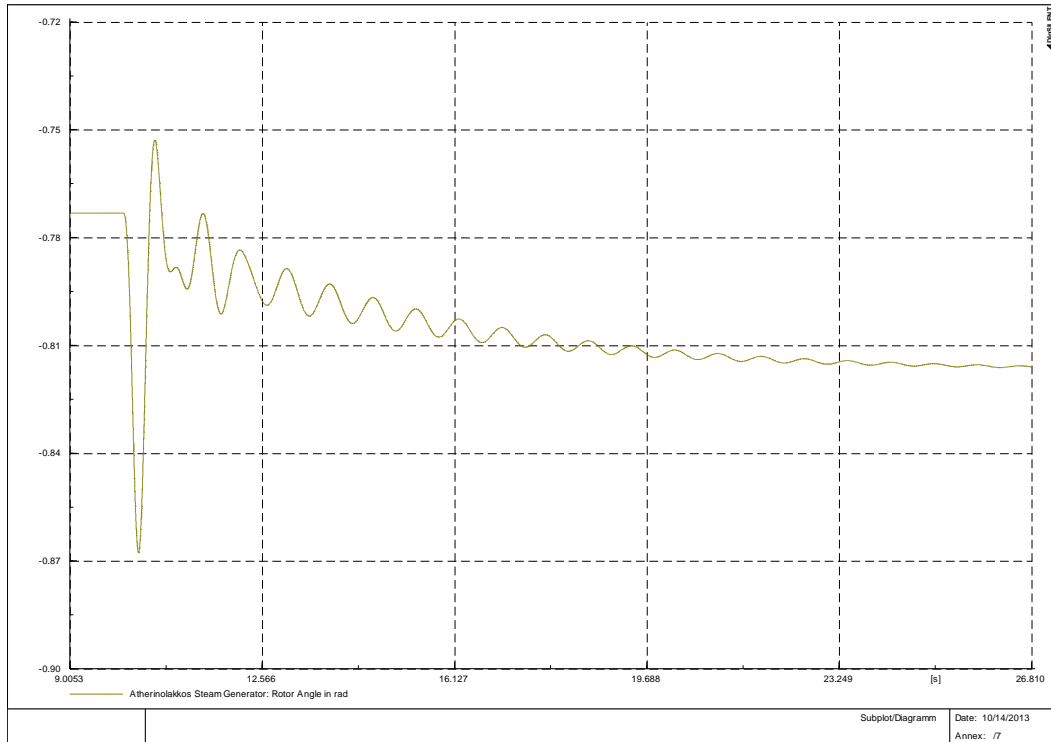


Εικόνα 179: Γωνία Δρομέα Αεροστροβίλου Λινοπεραμάτων

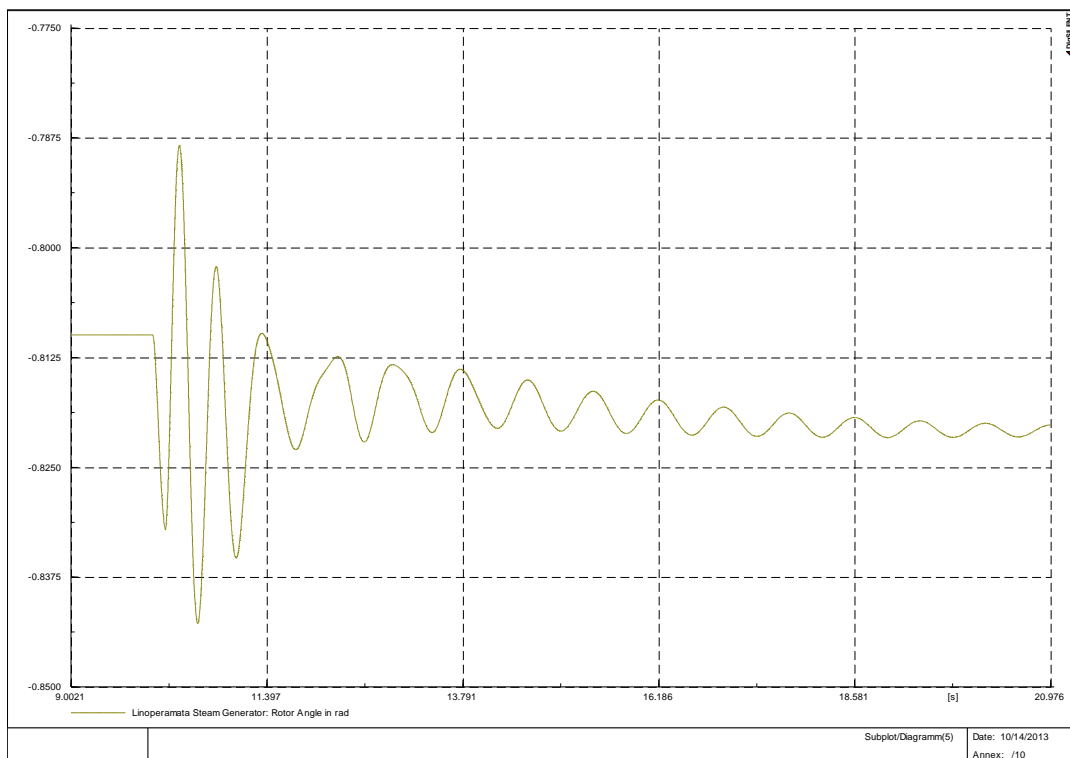


Εικόνα 180: Γωνία Δρομέα Αεροστροβίλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

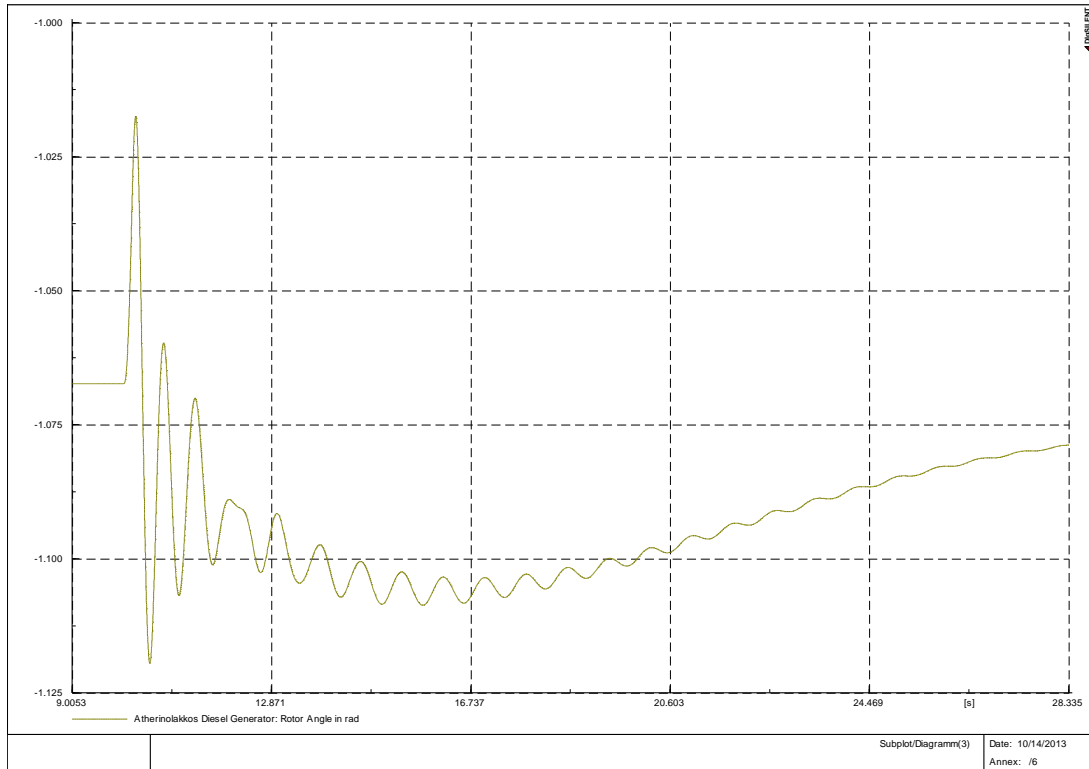


Εικόνα 181: Γωνία Δρομέα Ατμοστροβίλου Αθρινόλακκου

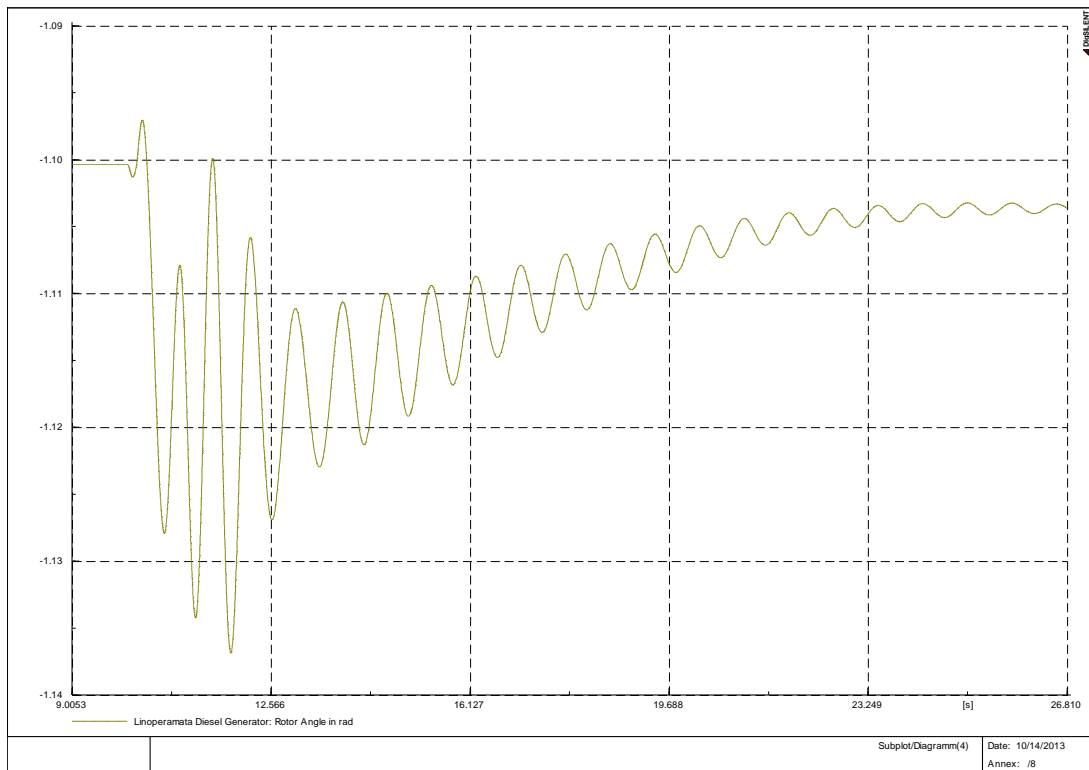


Εικόνα 182: Γωνία Δρομέα Ατμοστροβίλου Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

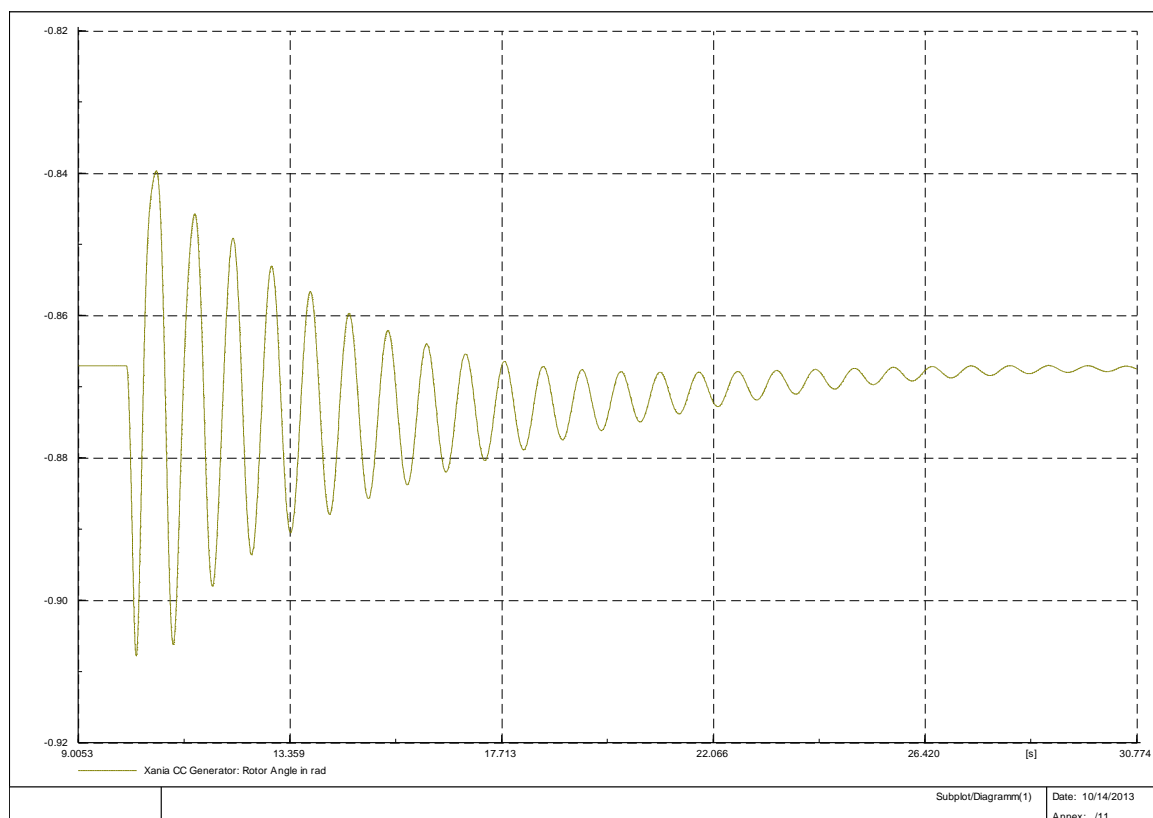


Εικόνα 183: Γωνία Δρομέα Ντηζελογεννήτριας Αθερινόλακκου



Εικόνα 184: Γωνία Δρομέα Ντηζελογεννήτριας Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

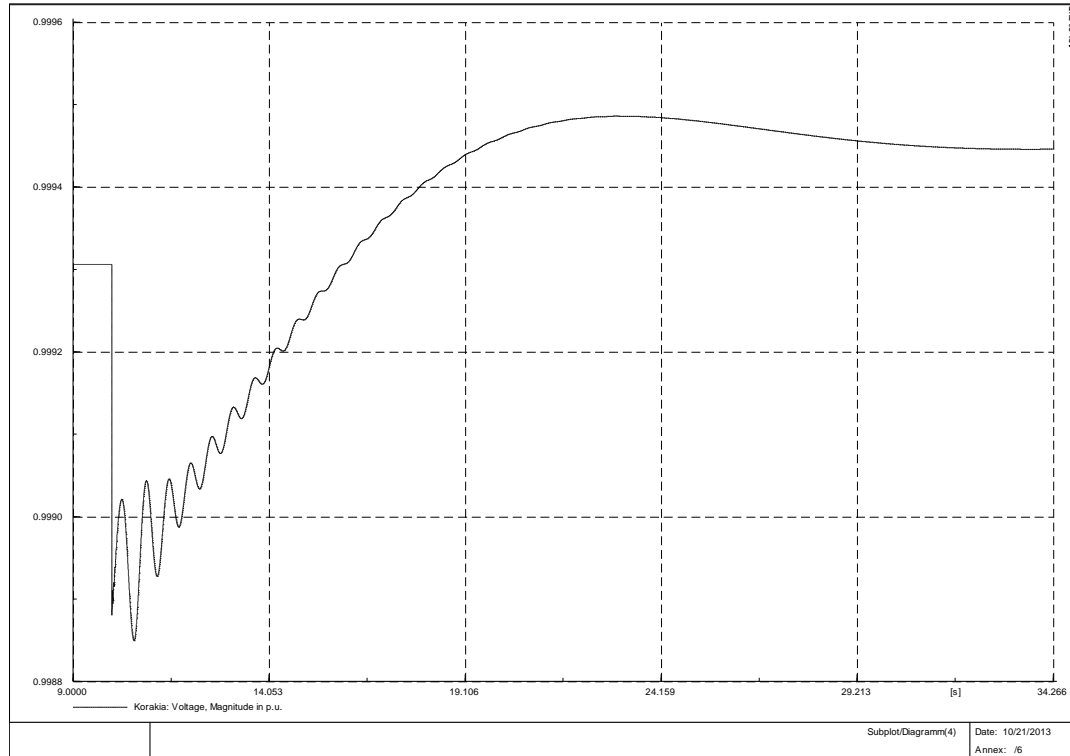


Εικόνα 185: Γωνία Δρομέα Συνδεδεμένου Κύκλου Χανίων

Το σύστημα ανταποκρίνεται εξίσου καλά με την προηγούμενη περίπτωση. Η σταθερότητα επανέρχεται και στο συνδεδεμένο και στο μη συνδεδεμένο σενάριο για το βραχυκύκλωμα, αλλά εδώ αυτό συμβαίνει κάπως πιο γρήγορα (όσον αφορά τη συχνότητα). Οι τάσεις πάλι σε συγκεκριμένα σημεία περνούν το κάτω όριο του 0,90 αμ (κυρίως στους ζυγούς που βρίσκονται κοντά στο βραχυκύκλωμα) αλλά αυτό συμβαίνει για πολύ μικρό χρονικό διάστημα μέχρι την εκκαθάριση και είναι αναμενόμενο για το σφάλμα αυτό.

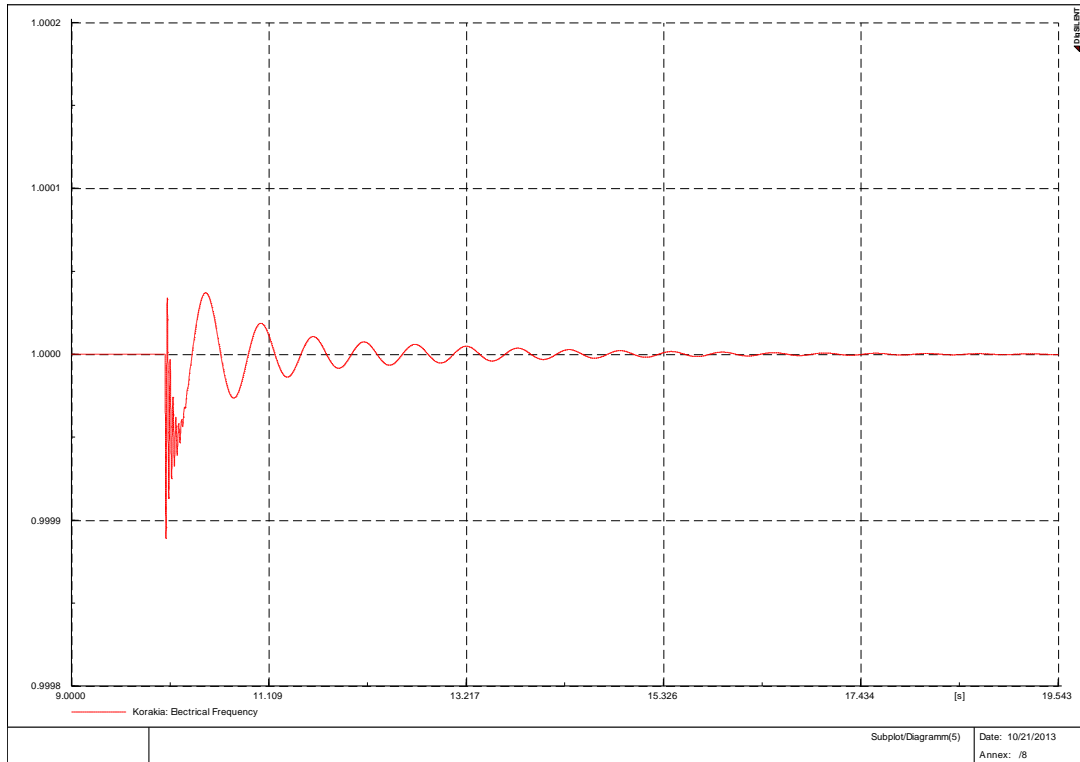
6.2.2 Σενάριο 2

Διαταραχή 1: Απώλεια σταθμού ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

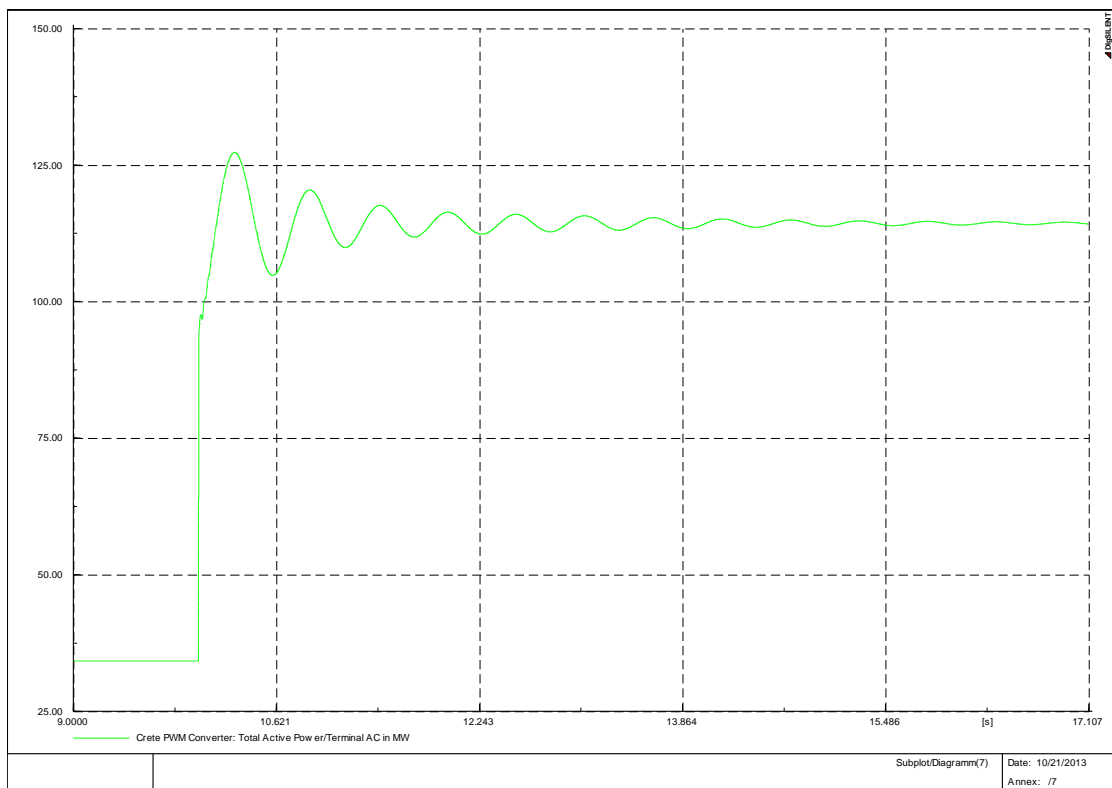


Εικόνα 186: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

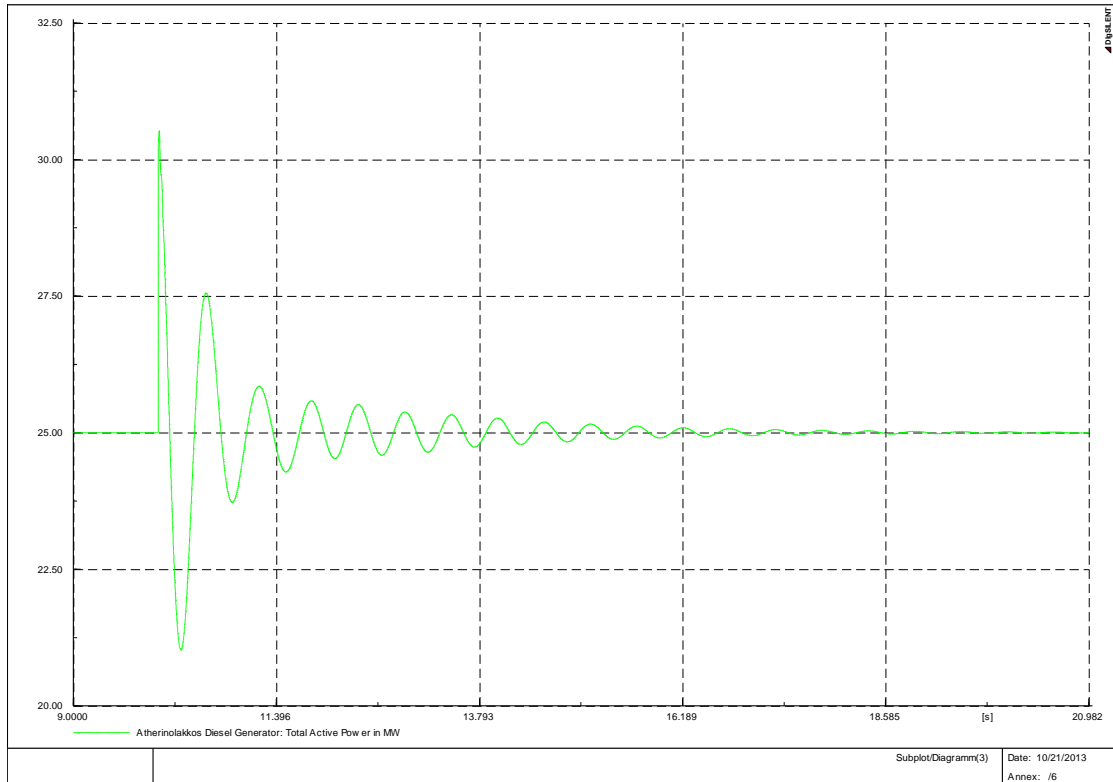


Εικόνα 187: Συχνότητα Συστήματος

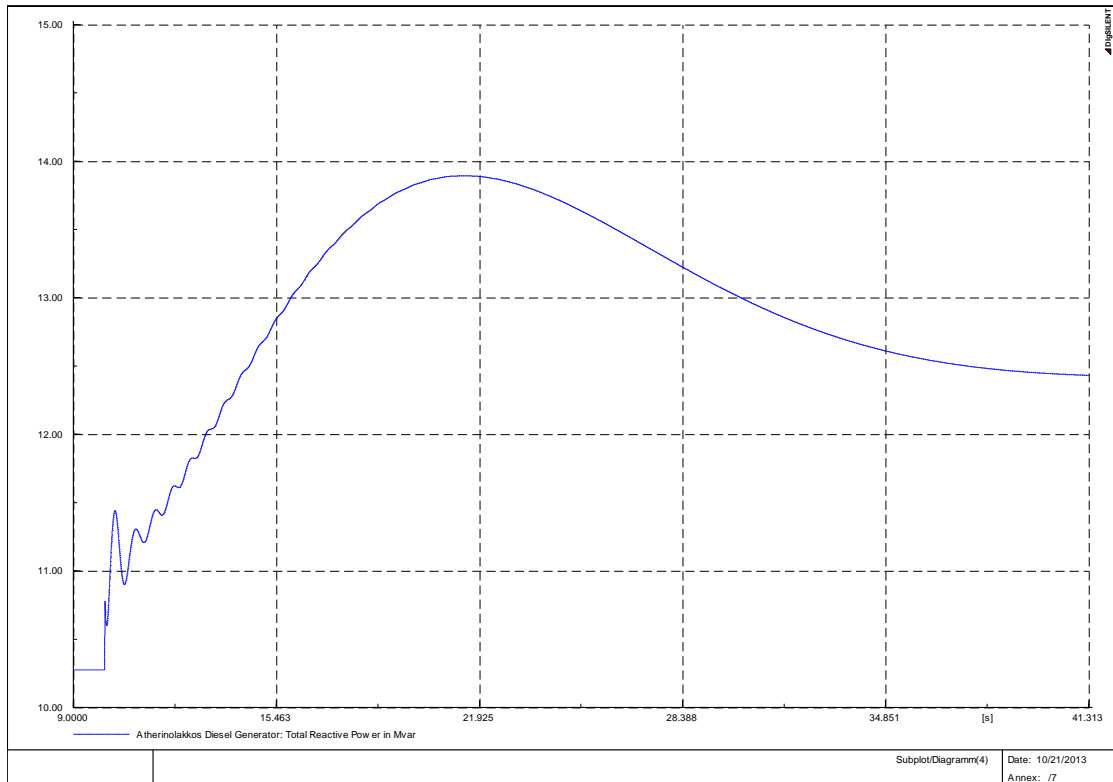


Εικόνα 188: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

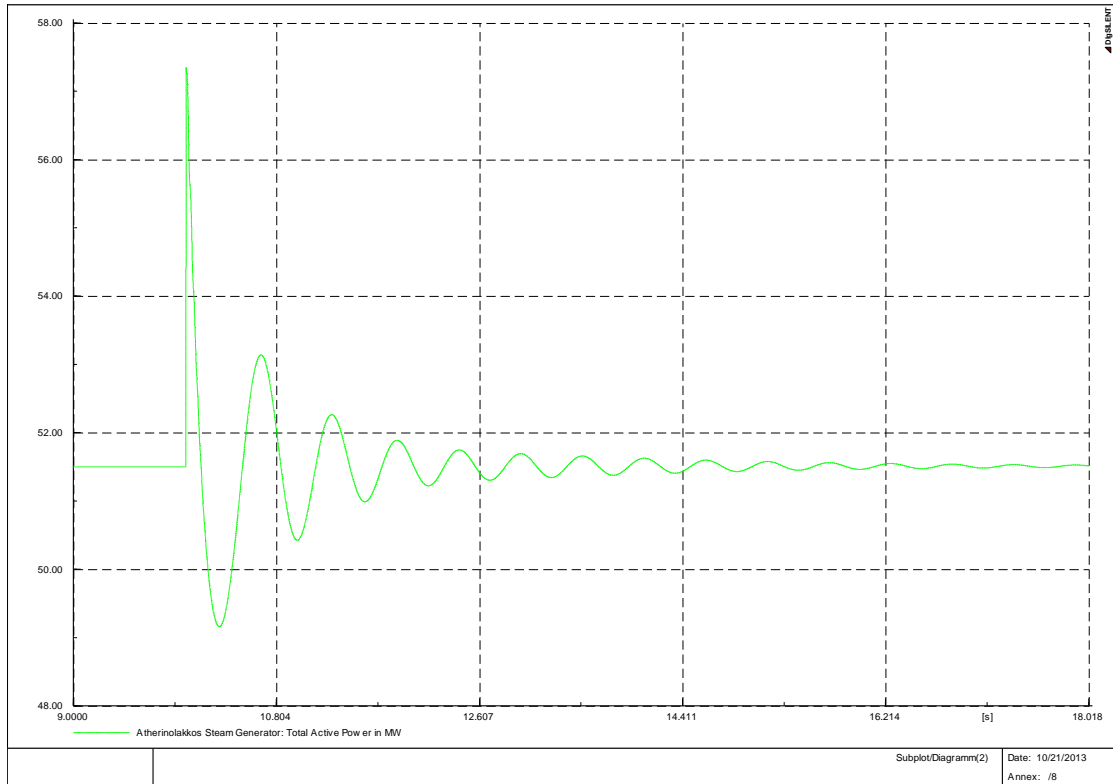


Εικόνα 189: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθρινόλακκου

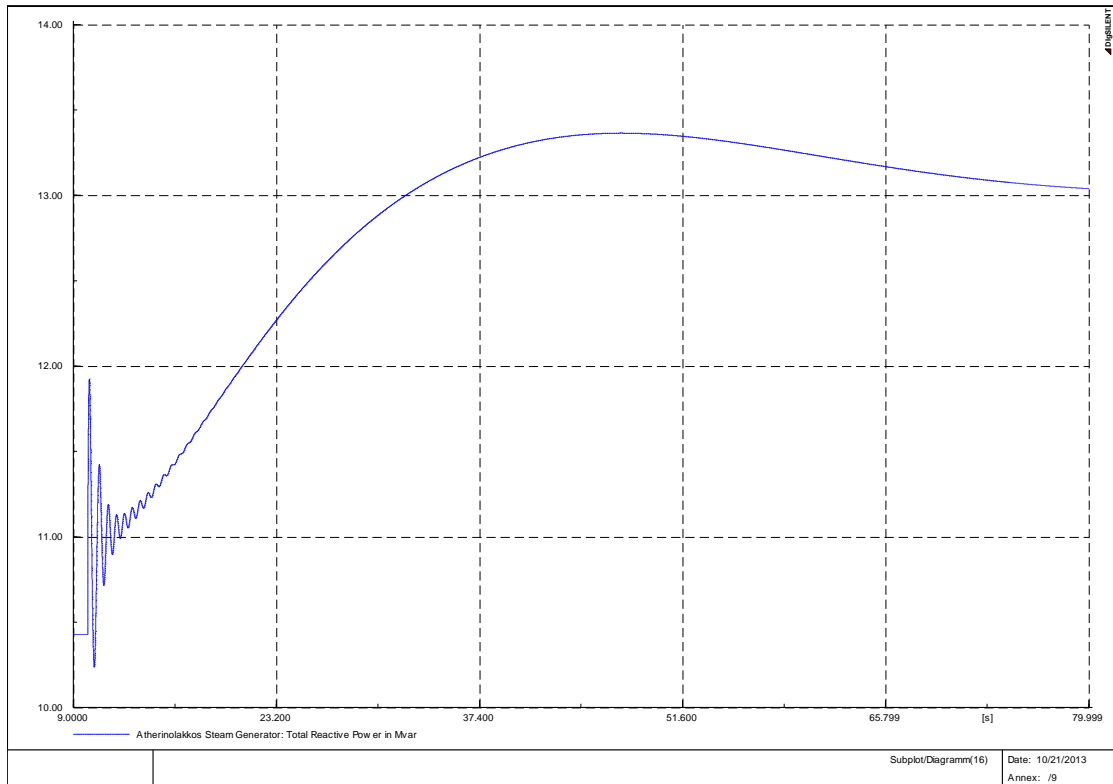


Εικόνα 190: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθρινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

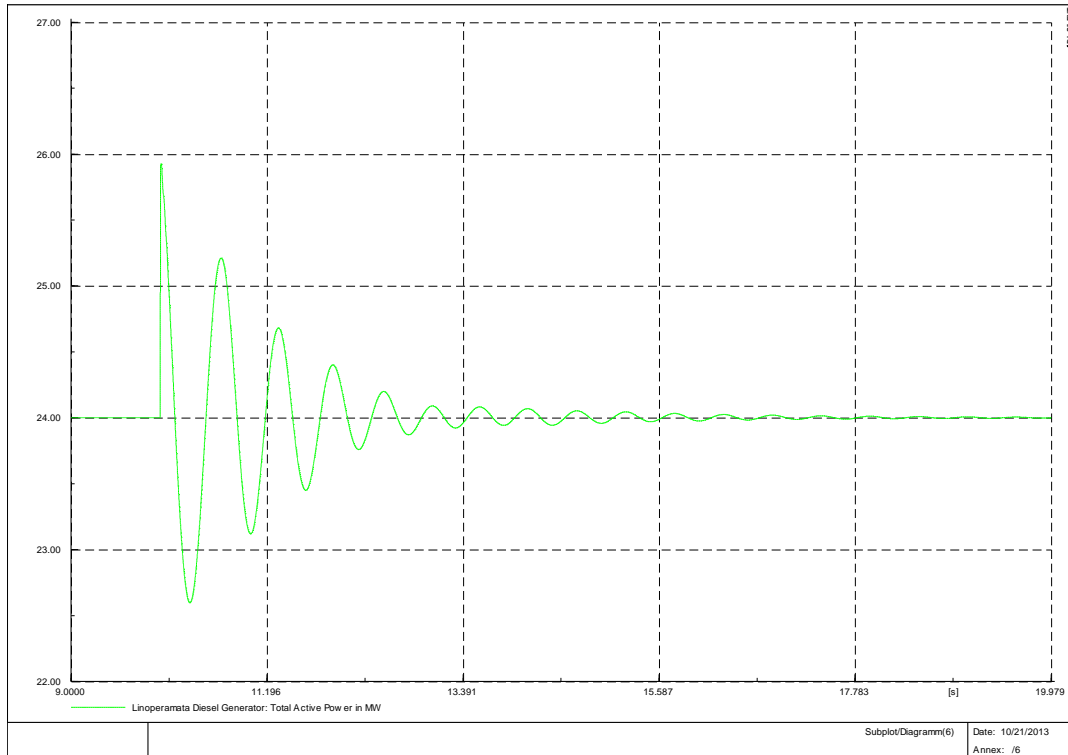


Εικόνα 191: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

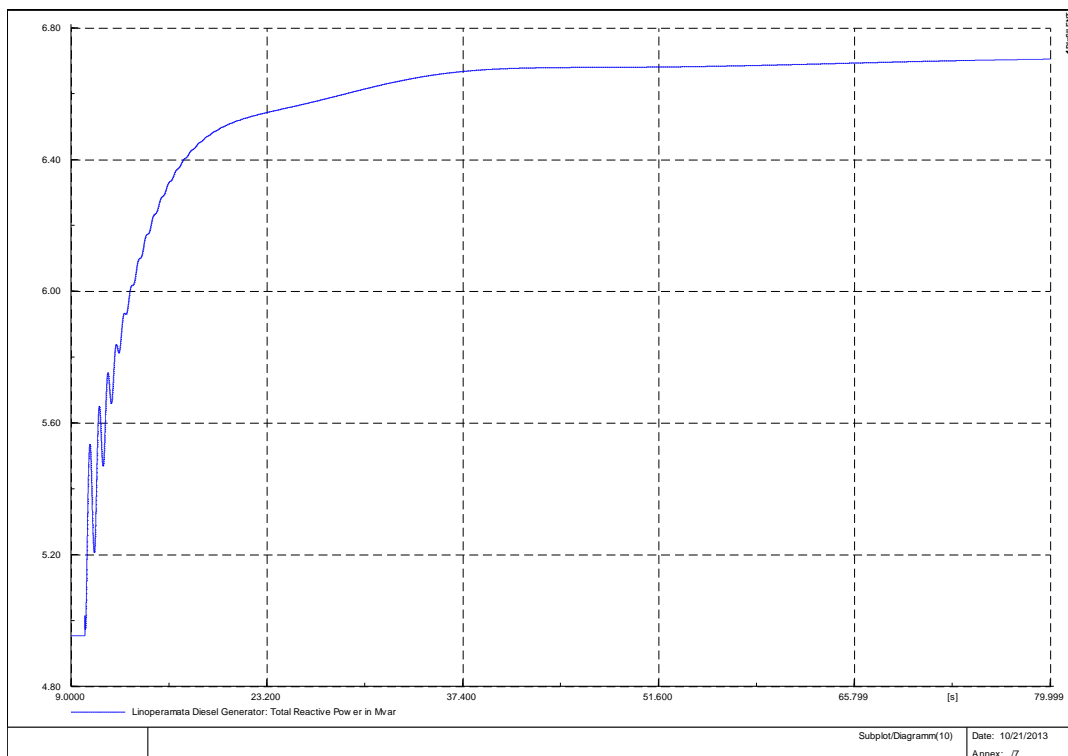


Εικόνα 192: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

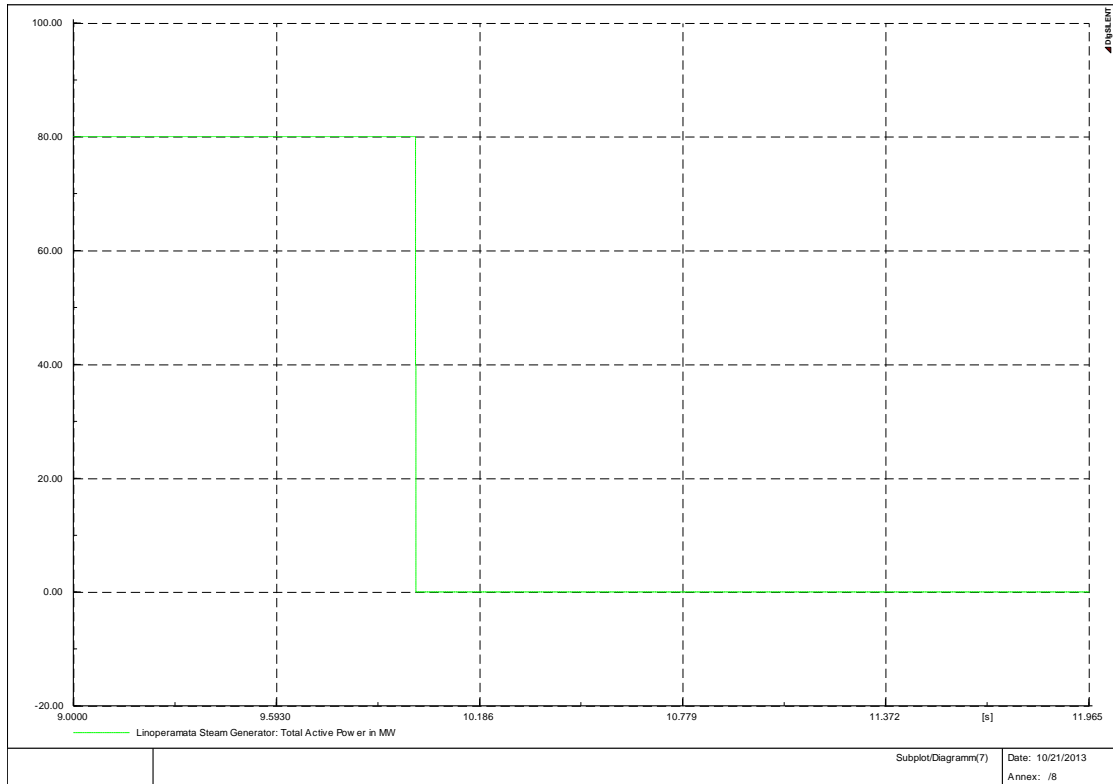


Εικόνα 193: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

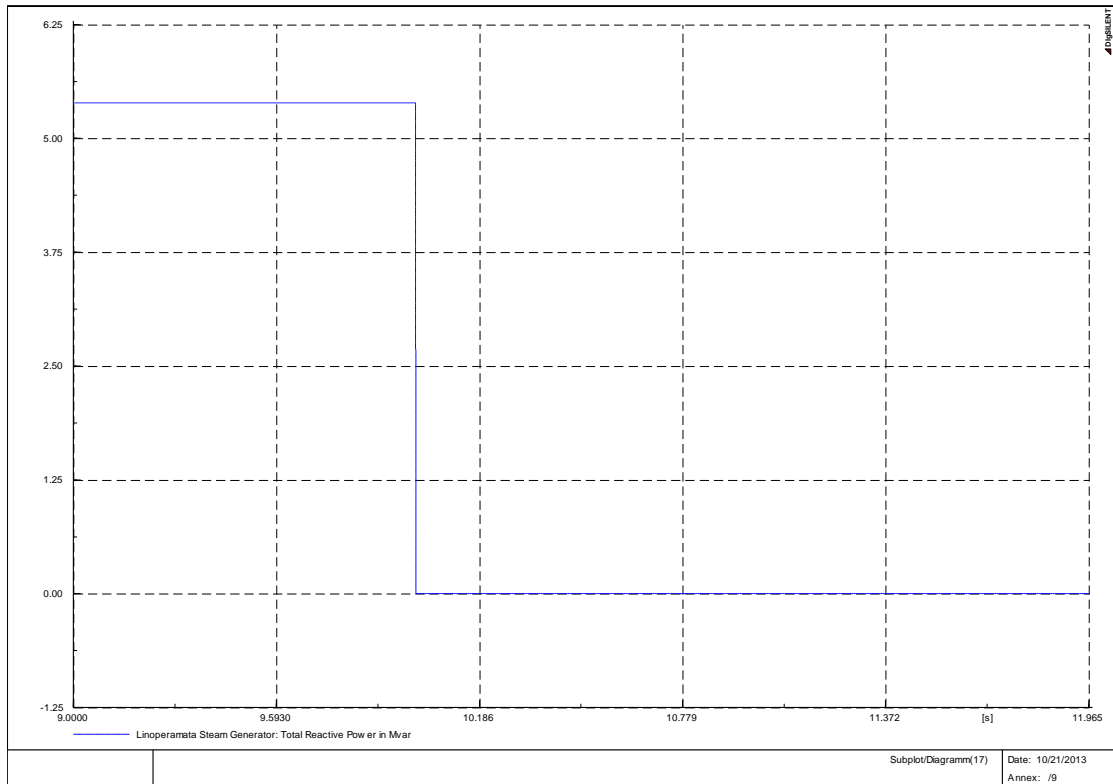


Εικόνα 194: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

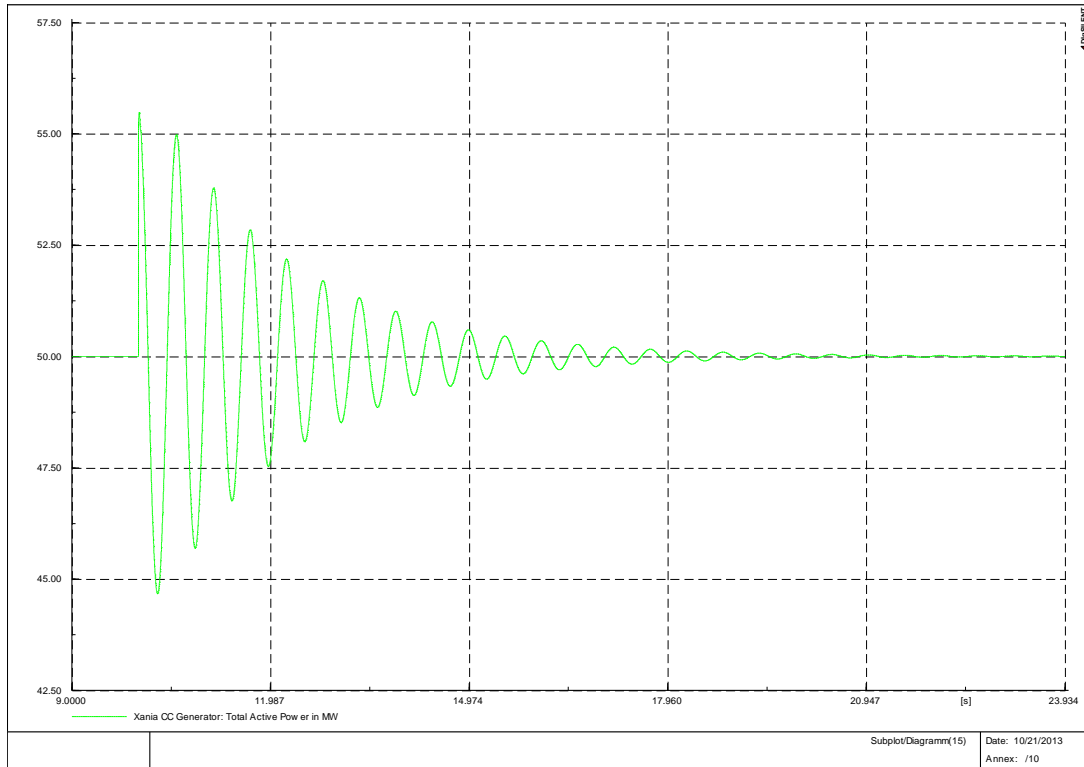


Εικόνα 195: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

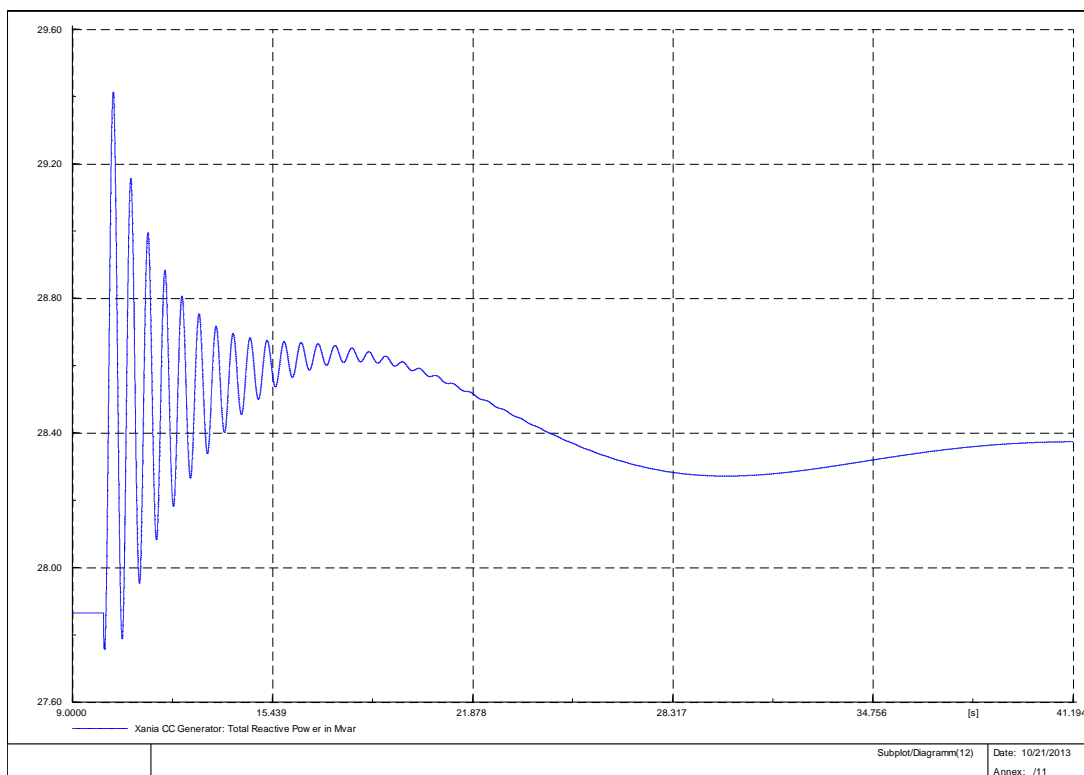


Εικόνα 196: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



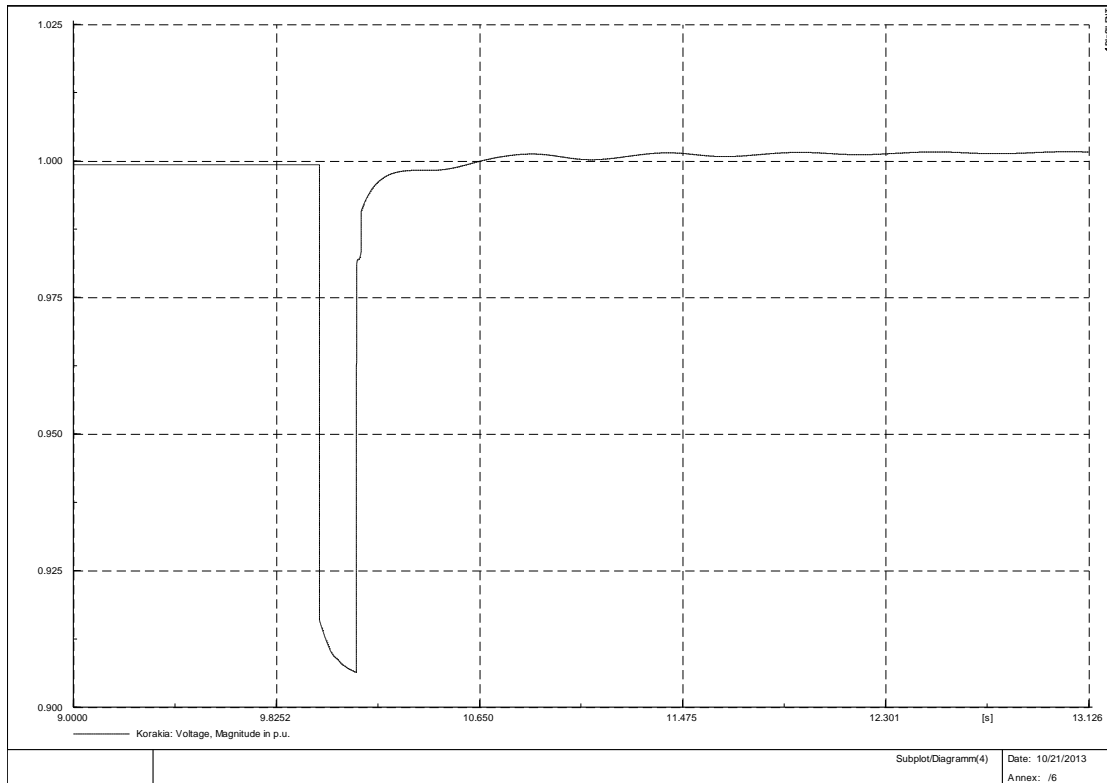
Εικόνα 197: Ενεργός Ισχύς Συνδυσασμένου Κύκλου



Εικόνα 198: Αεργός Ισχύς Συνδυσασμένου Κύκλου

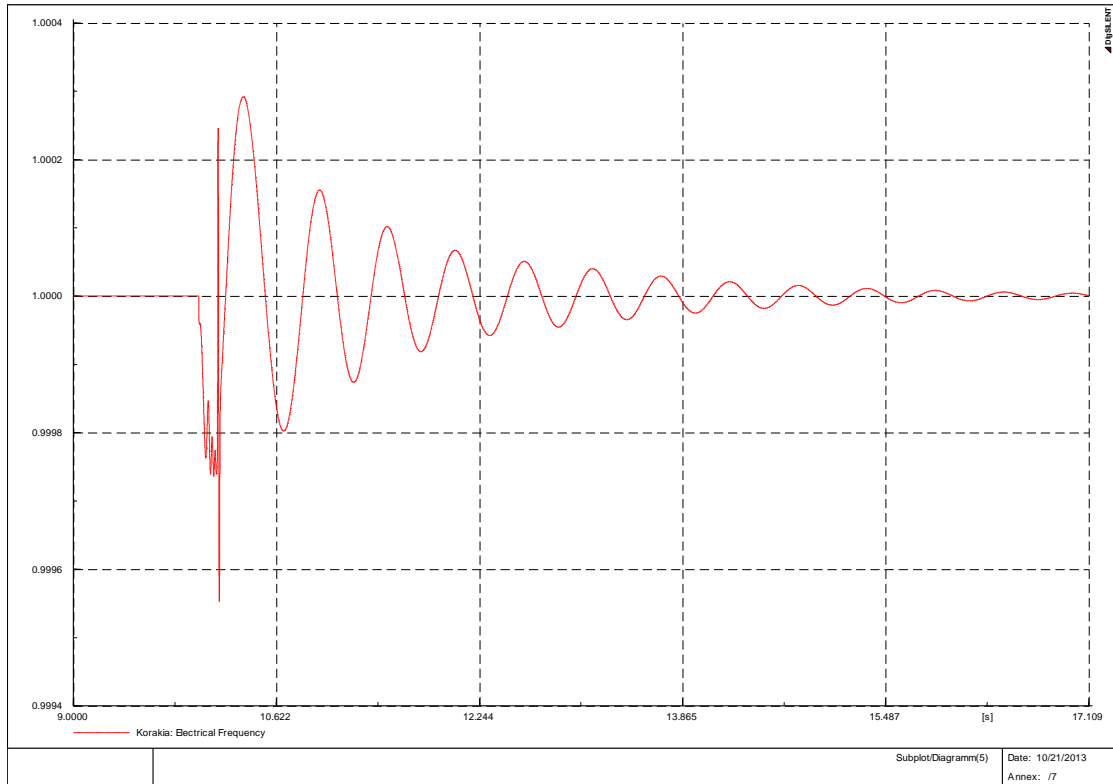
Δεν υπάρχει αμφιβολία πως το σύστημα ανταποκρίνεται ιδανικά στην περίπτωση αυτή, ακόμη και σε σύγκριση με την κατάσταση χωρίς σύνδεση, όπου μόνο η συχνότητα έβγαине για λίγο εκτός ορίων. Εδώ η τάση και η συχνότητα πέφτουν ελάχιστα (τιμές 0.999) κάτι που δείχνει πως το σύστημα τώρα είναι ακόμη πιο ανθεκτικό και στιβαρό.

Διαταραχή 2: Βραχυκύκλωμα στη Σητεία

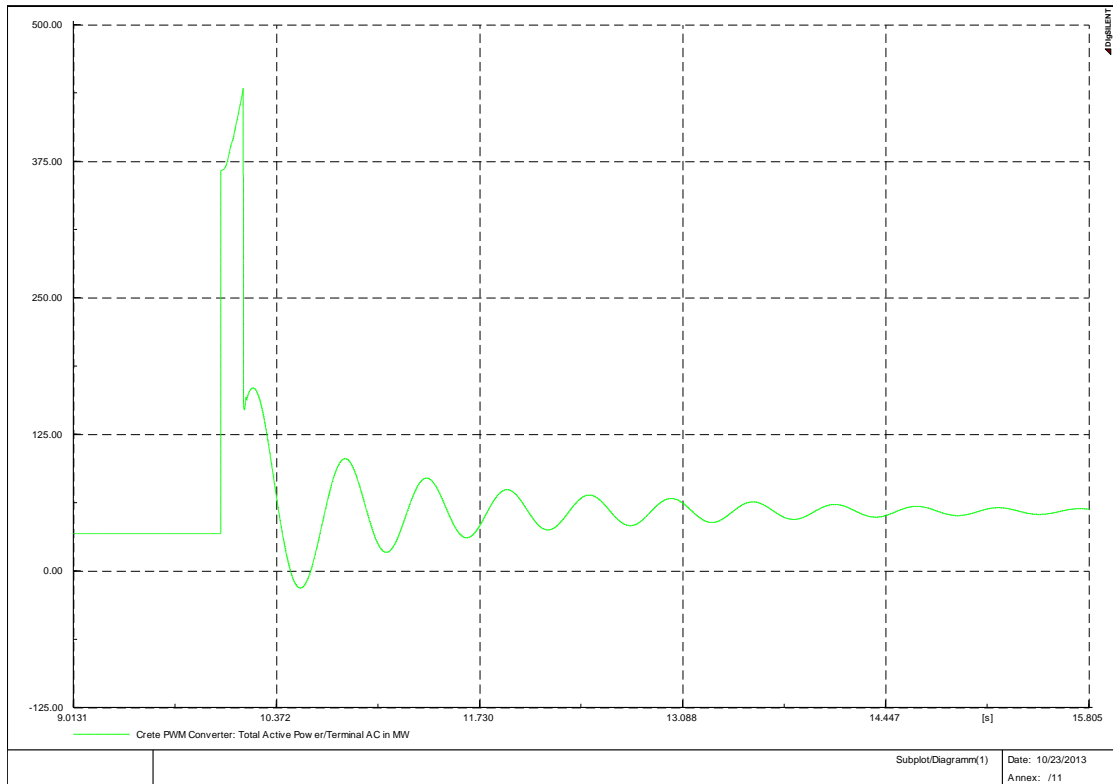


Εικόνα 199: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

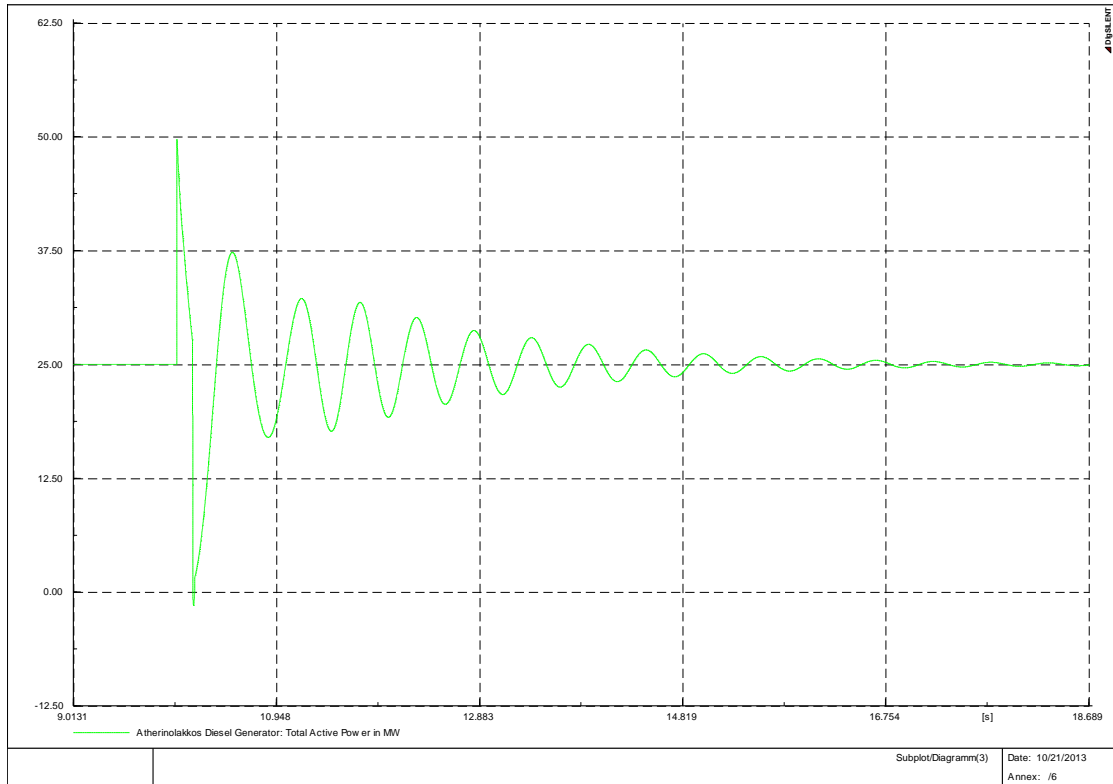


Εικόνα 200: Συχνότητα Συστήματος

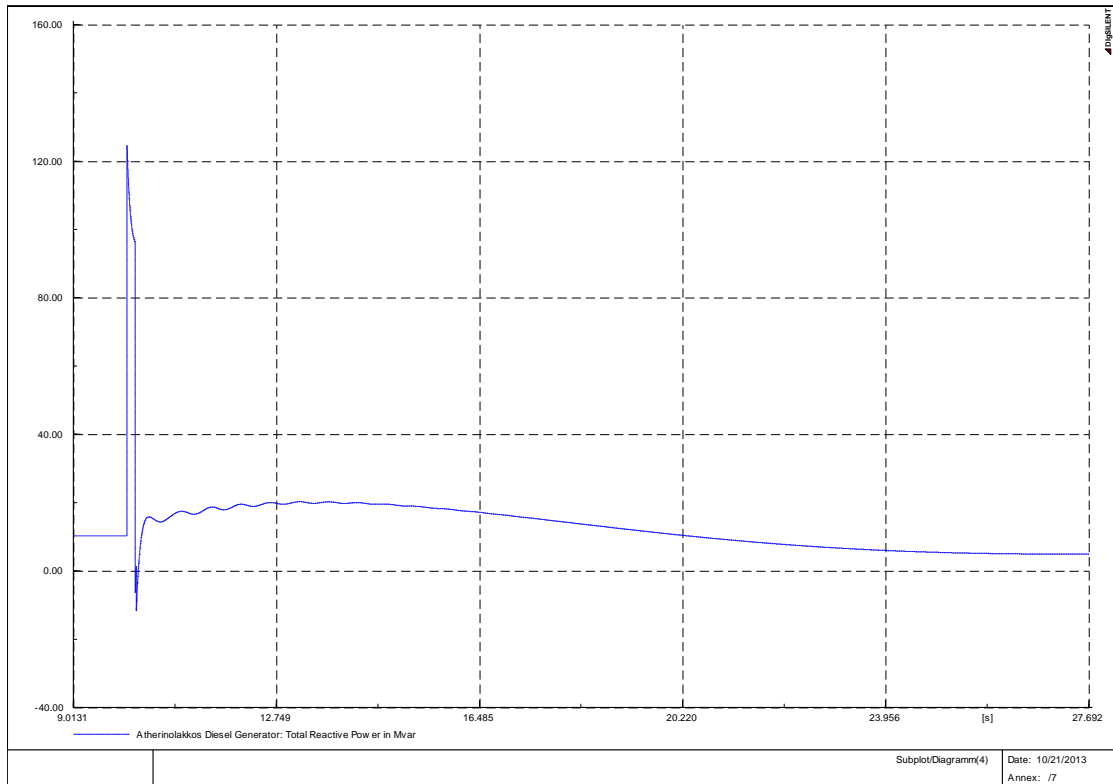


Εικόνα 201: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

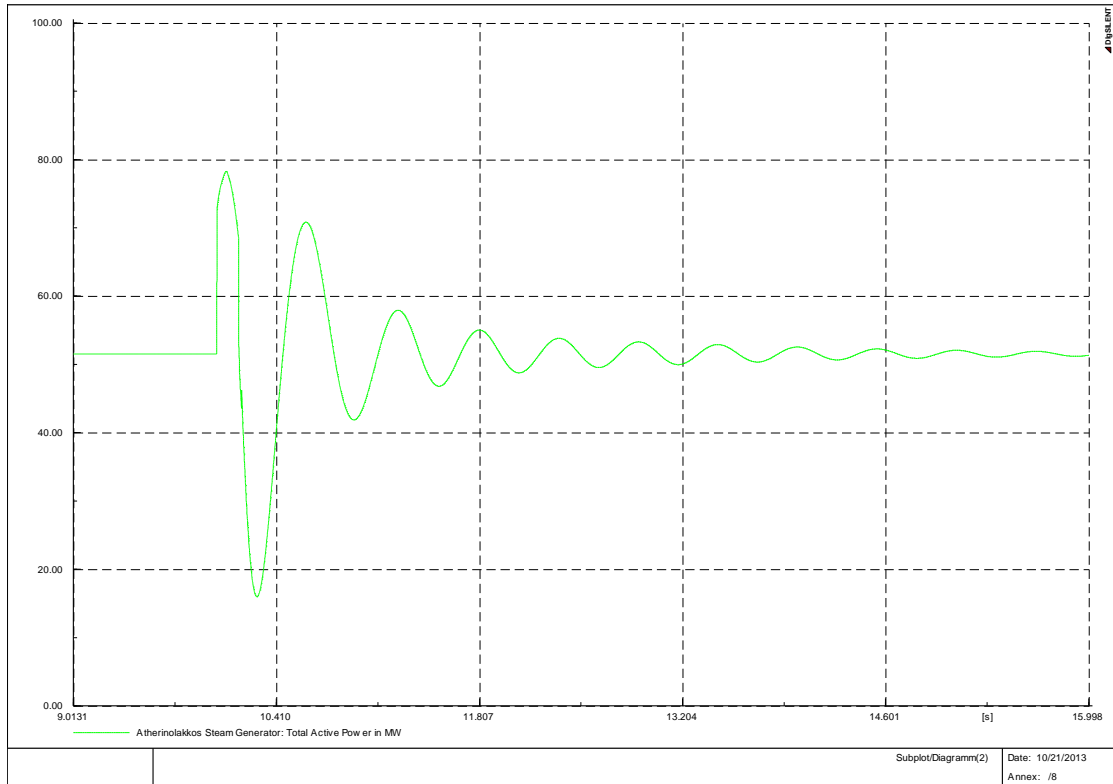


Εικόνα 202: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθερινόλακκου

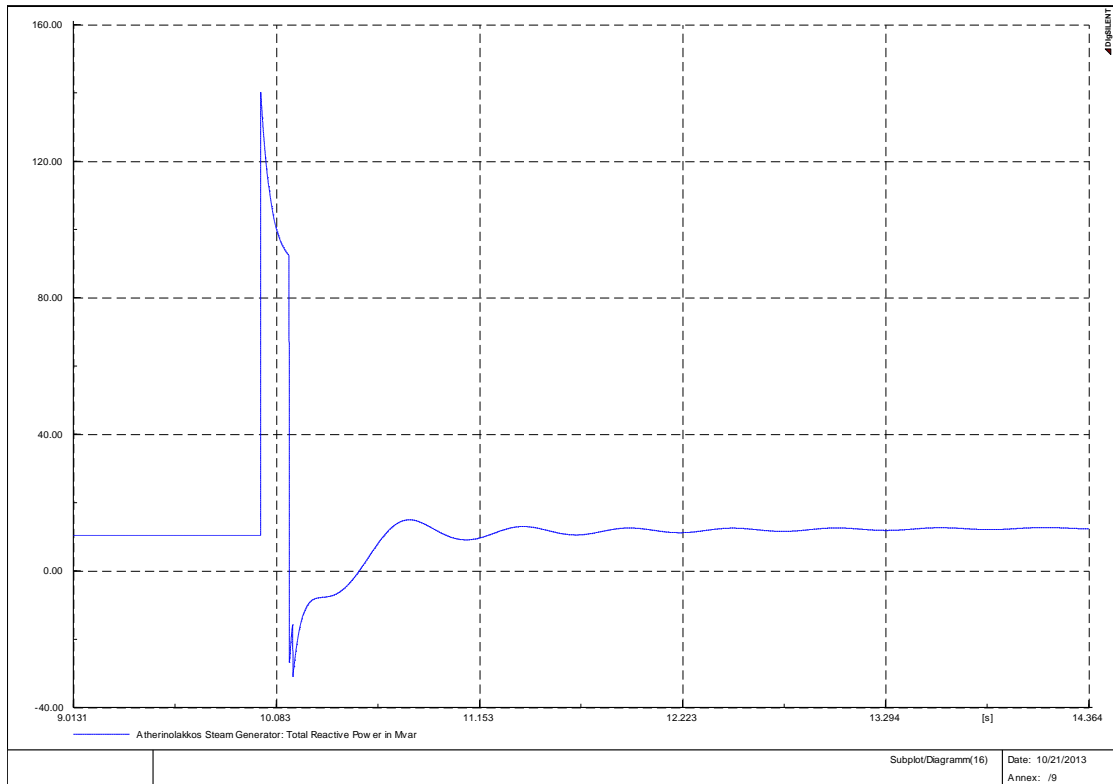


Εικόνα 203: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

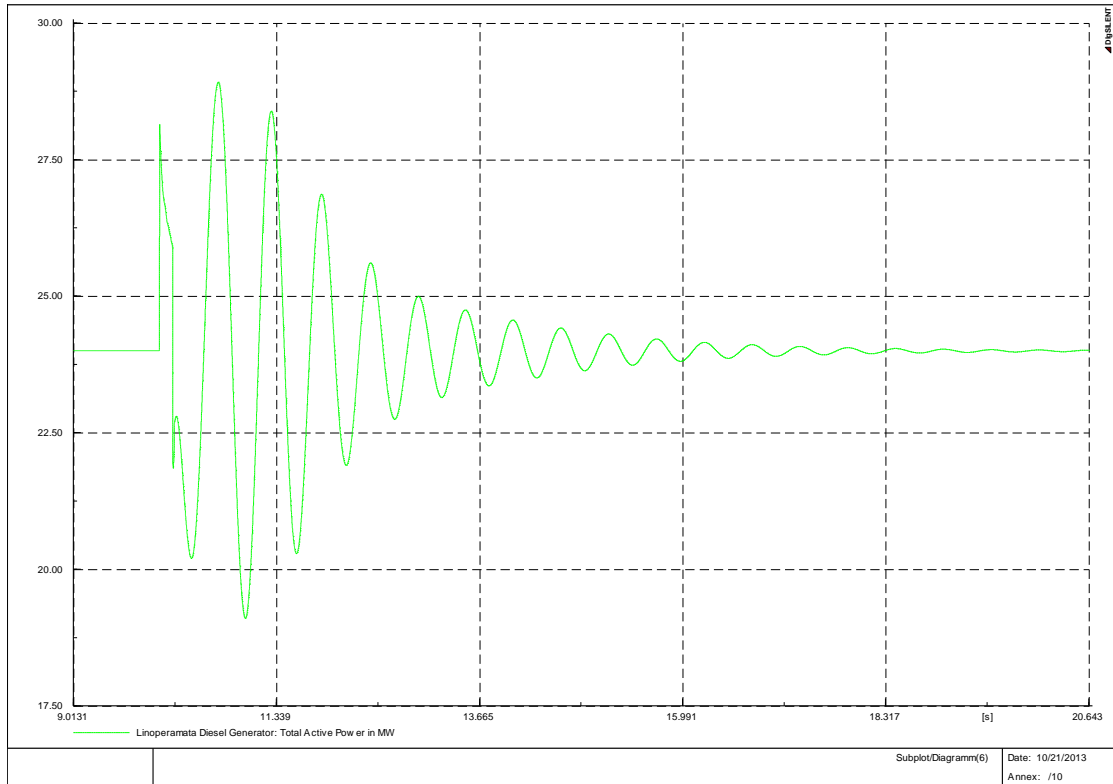


Εικόνα 204: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθρινόλακκου

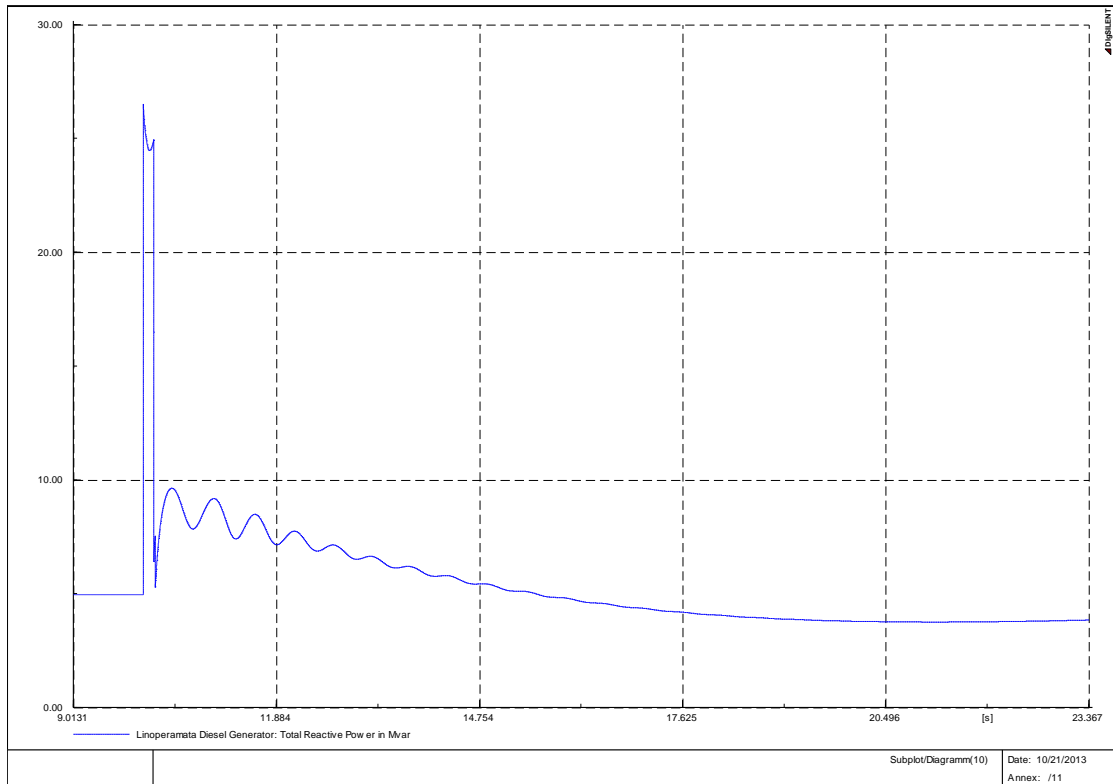


Εικόνα 205: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθρινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

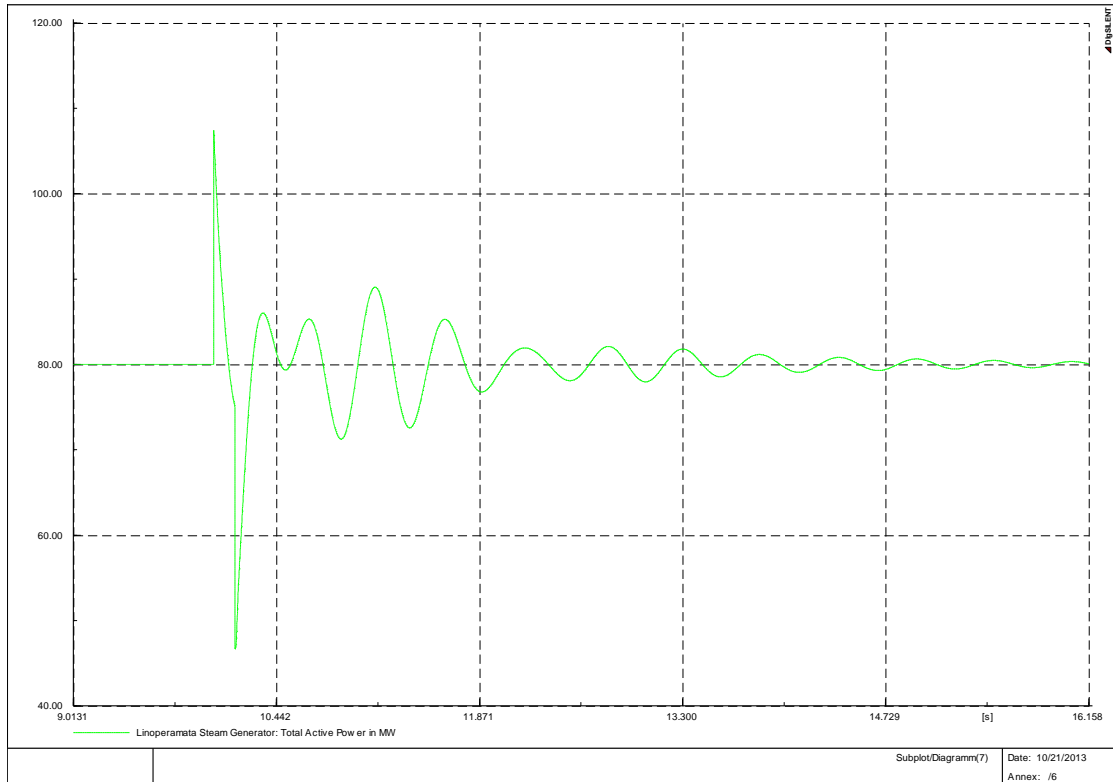


Εικόνα 206: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

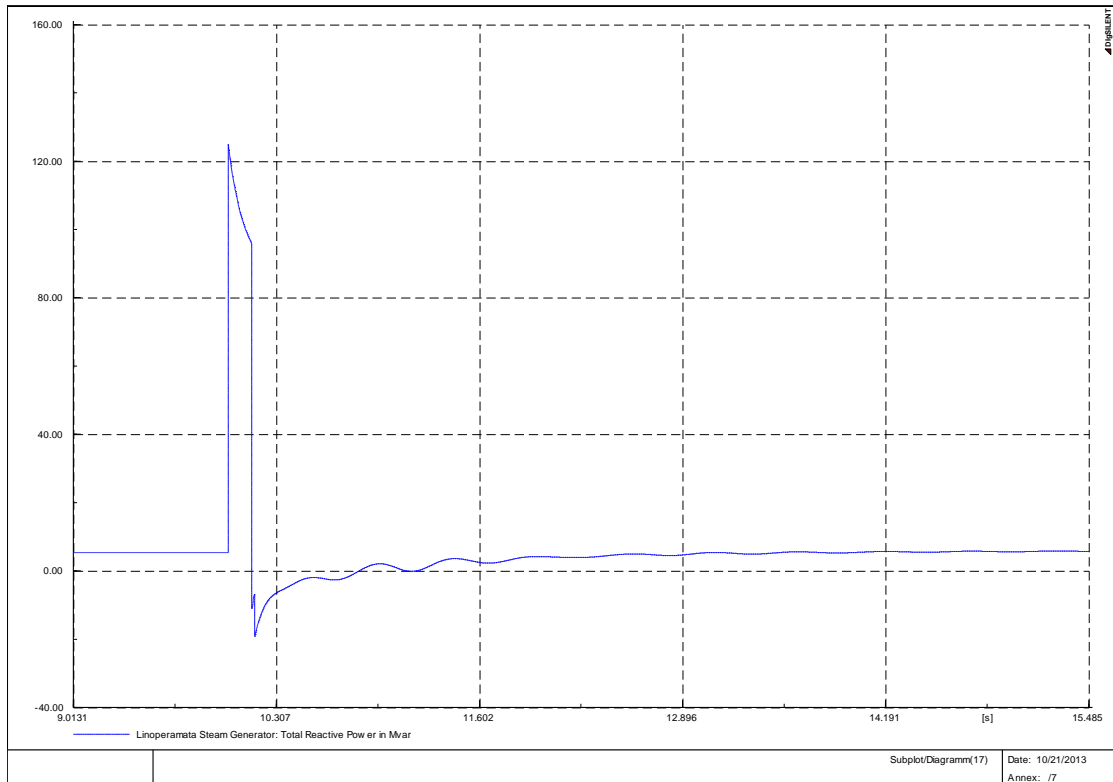


Εικόνα 207: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

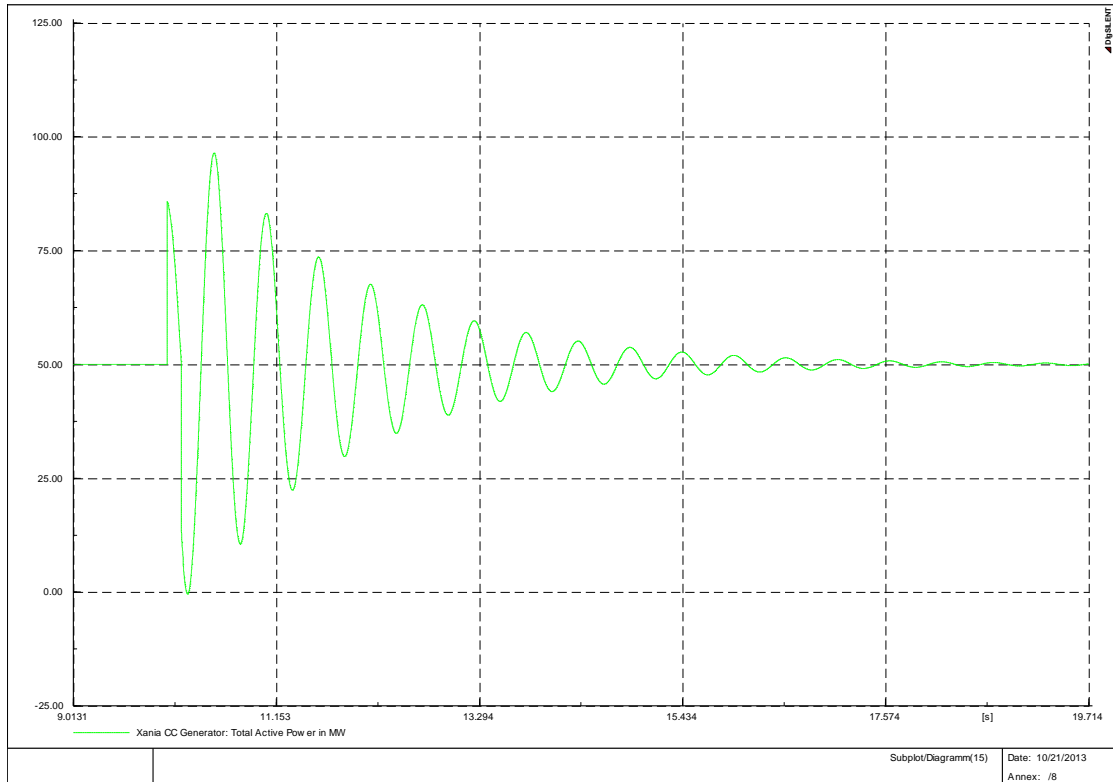


Εικόνα 208: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

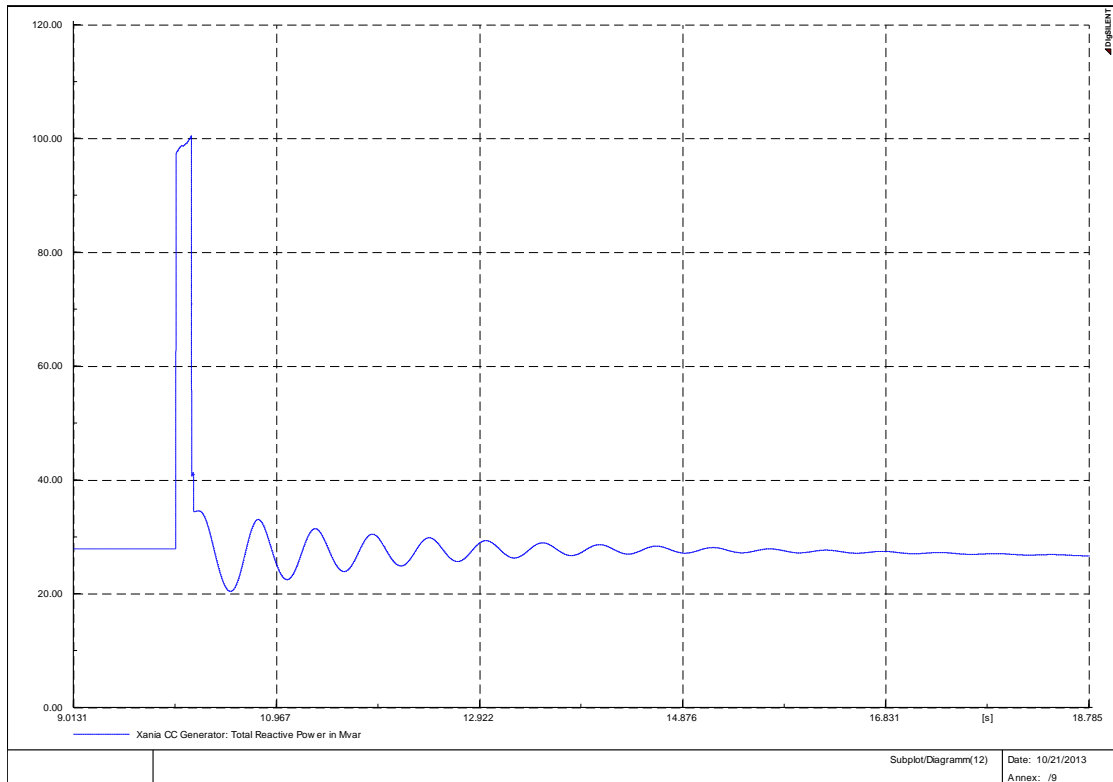


Εικόνα 209: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

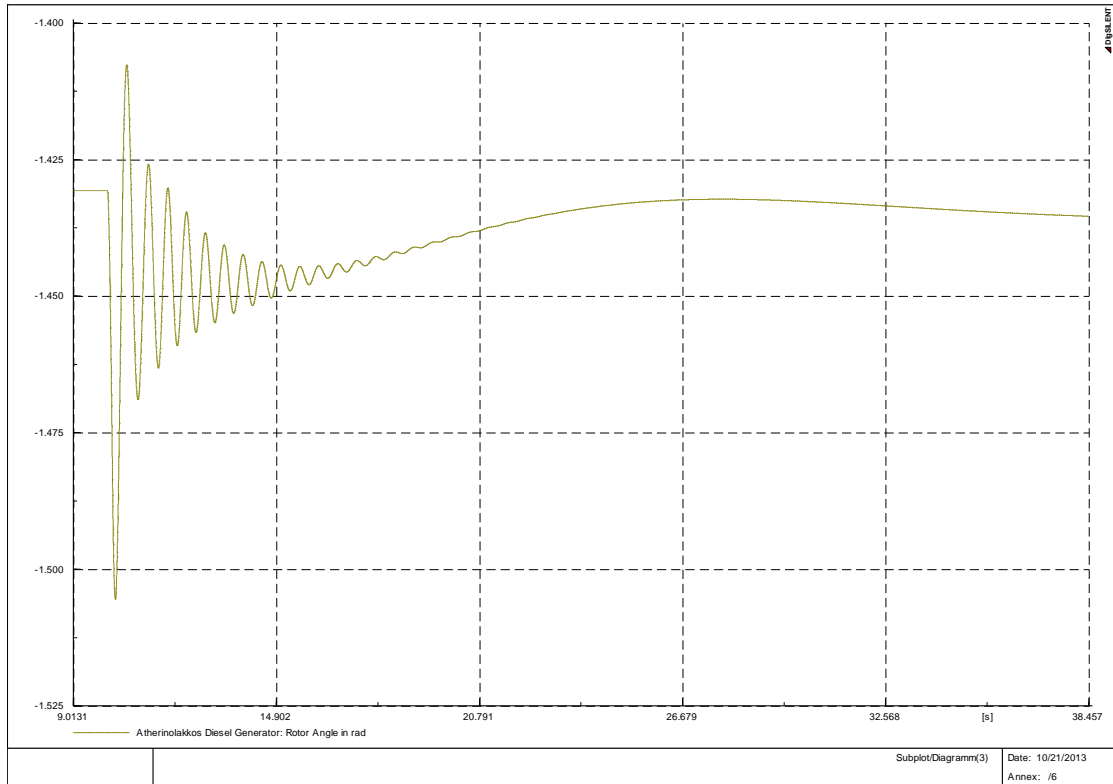


Εικόνα 210: Ενεργός Ισχύς Συνδυνασμένου Κύκλου

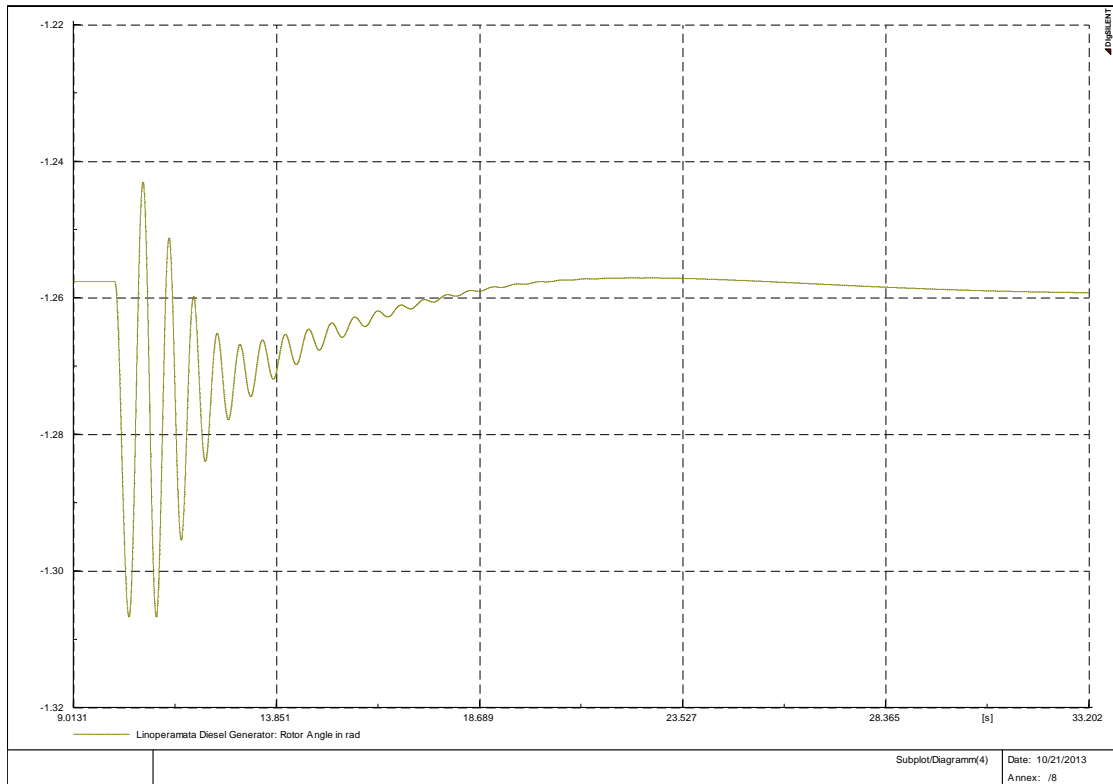


Εικόνα 211: Άεργος Ισχύς Συνδυνασμένου Κύκλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

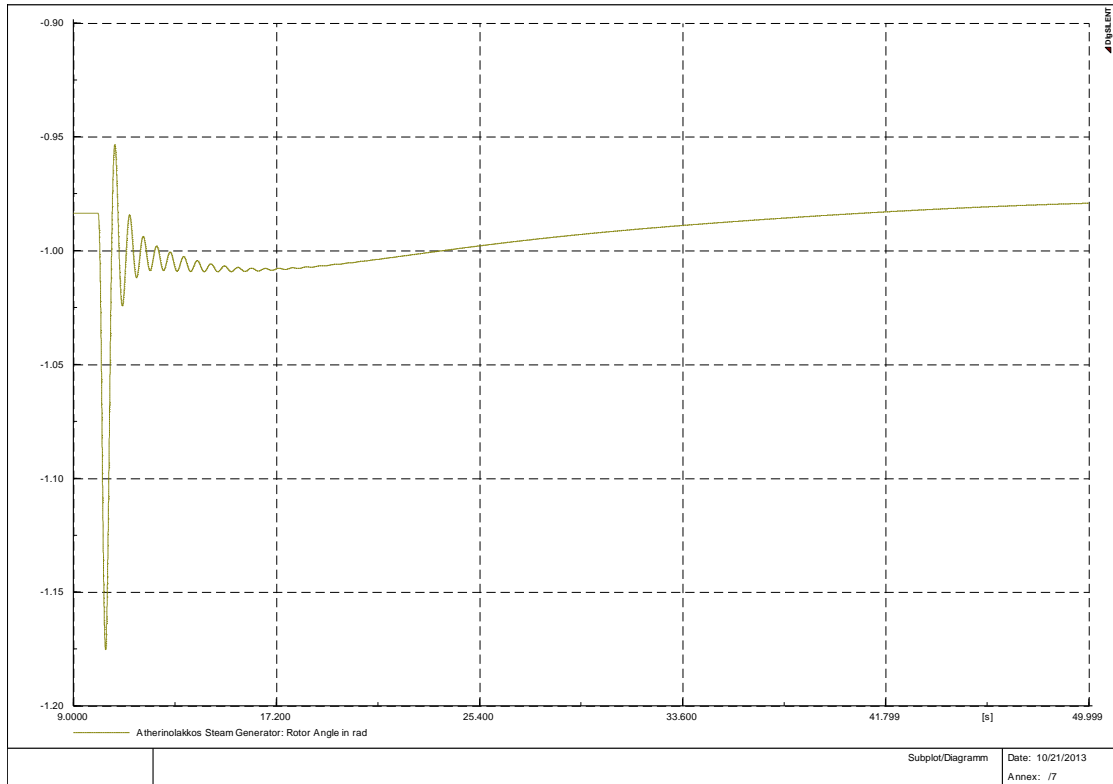


Εικόνα 212: Γωνία Δρομέα Diesel Αθρινόλακκου

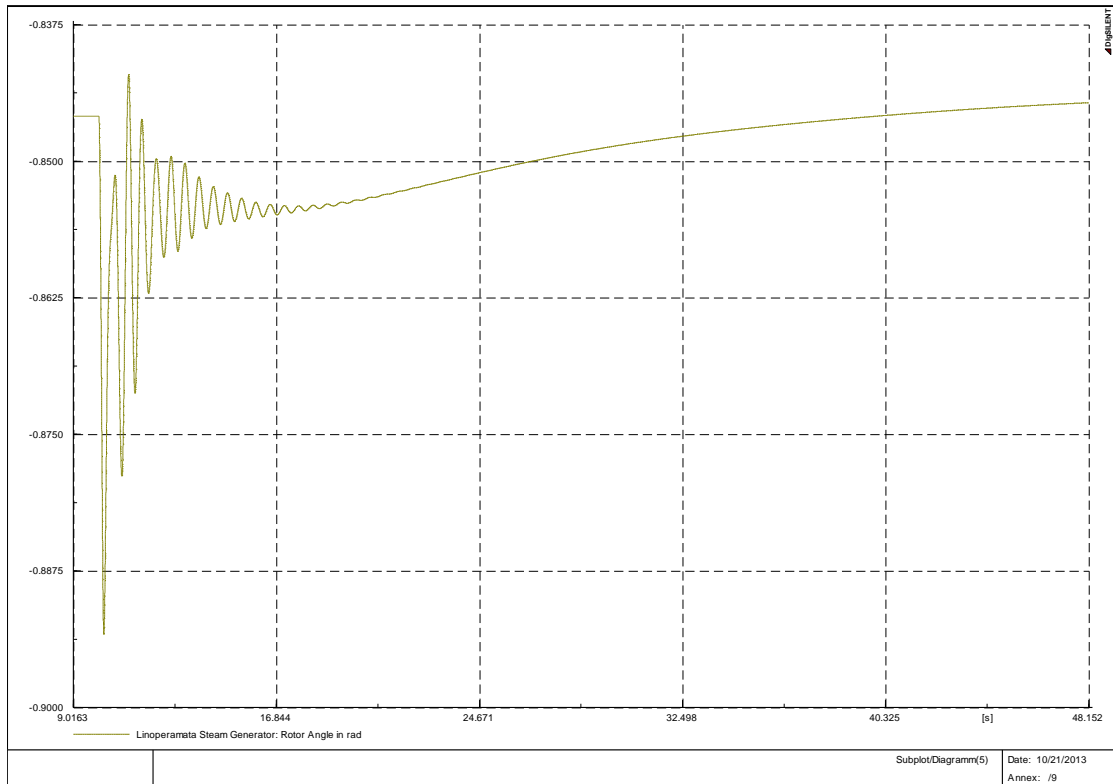


Εικόνα 213: Γωνία Δρομέα Diesel λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

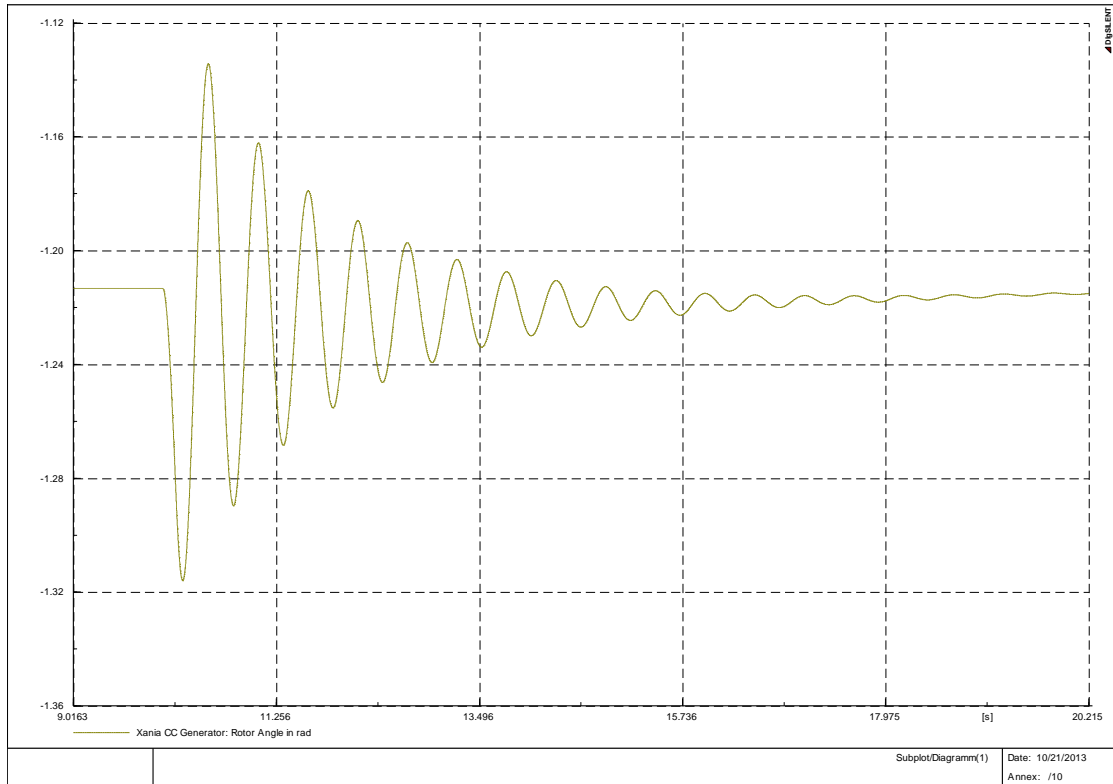


Εικόνα 214: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

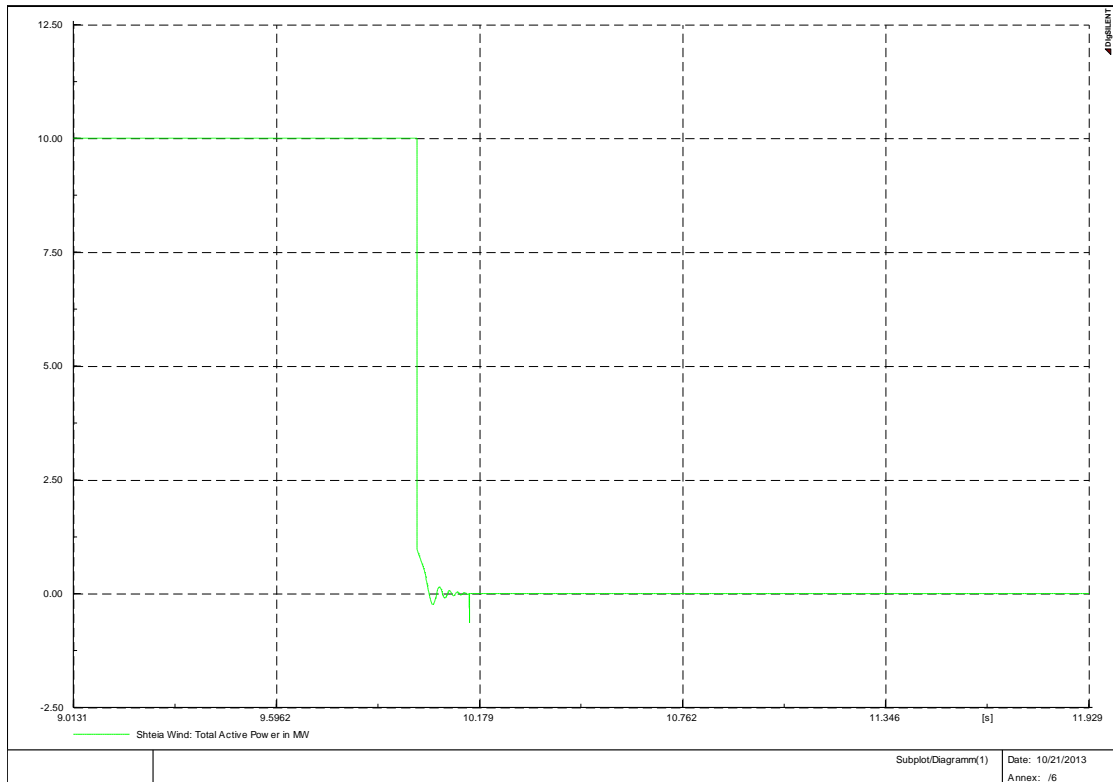


Εικόνα 215: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

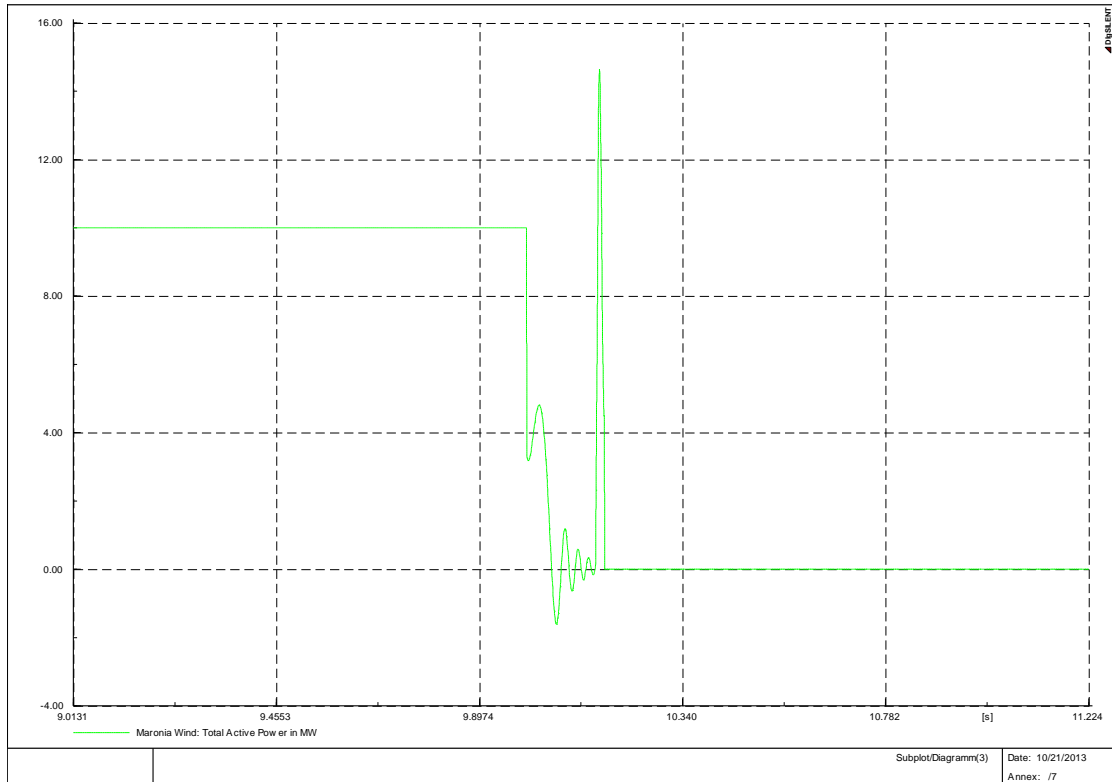
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 216: Γωνία Δρομέα Συνδυσασμένου Κύκλου



Εικόνα 217: Ενεργός Ισχύς Αιολικών Σητείας

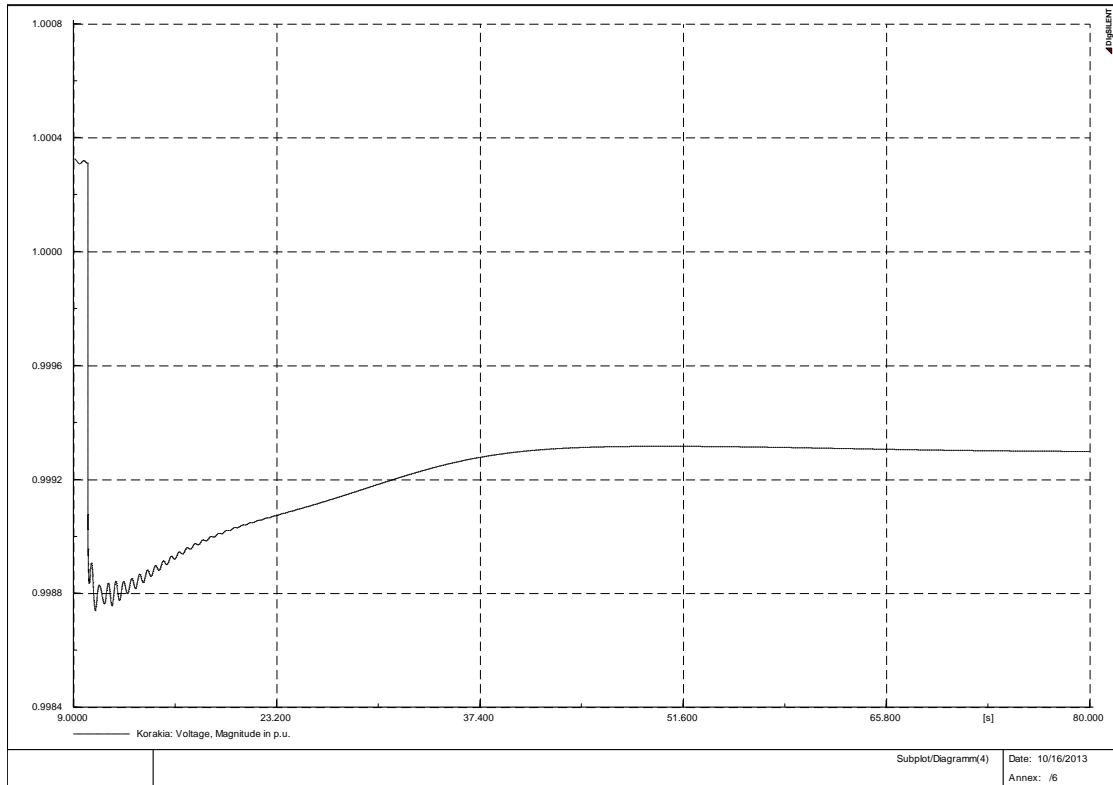


Εικόνα 218: Ενεργός Ισχύς Αιολικών Μαρωνιάς

Η απόκριση στο σφάλμα αυτό είναι τυπική: Παρατηρούμε πως η συχνότητα δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από το βραχυκύκλωμα (αφού δε διαρκεί πολύ) και οι τάσεις πέφτουν αρκετά μόνο για τη χρονική διάρκεια του σφάλματος. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως η διασύνδεση, μετά την αποσύνδεση των αιολικών από τα ρελαί τους λόγω χαμηλής τάσης, καλύπτει την υπολειπόμενη ενεργό ισχύ, κάτι που δε συνέβαινε στα σενάρια χωρίς σύνδεση. Η άμεση απόκριση του συνδέσμου είναι καθοριστικός παράγοντας στη διατήρηση τάσης και κυρίως συχνότητας στα αποδεκτά επίπεδα, ιδιαίτερα όταν οι απώλειες σε MW είναι πιο μεγάλες.

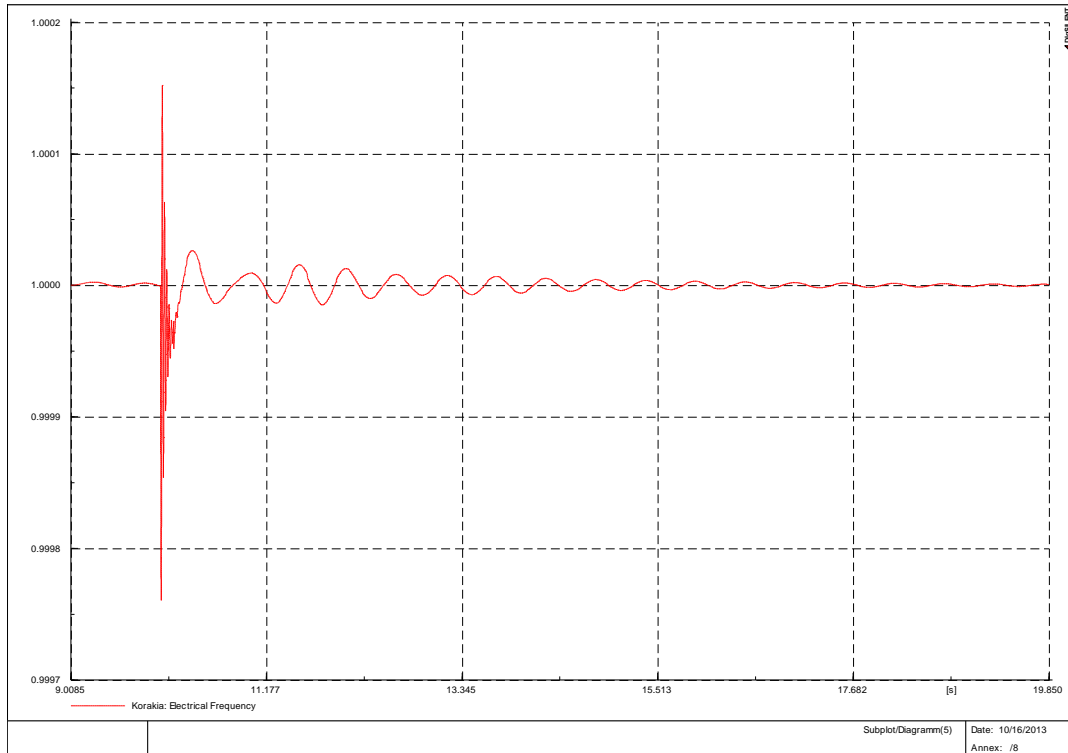
6.2.3 Σενάριο 3

Διαταραχή 1: Απώλεια Μονάδας Ατμοστρόβιλων Αθρινόλακκου

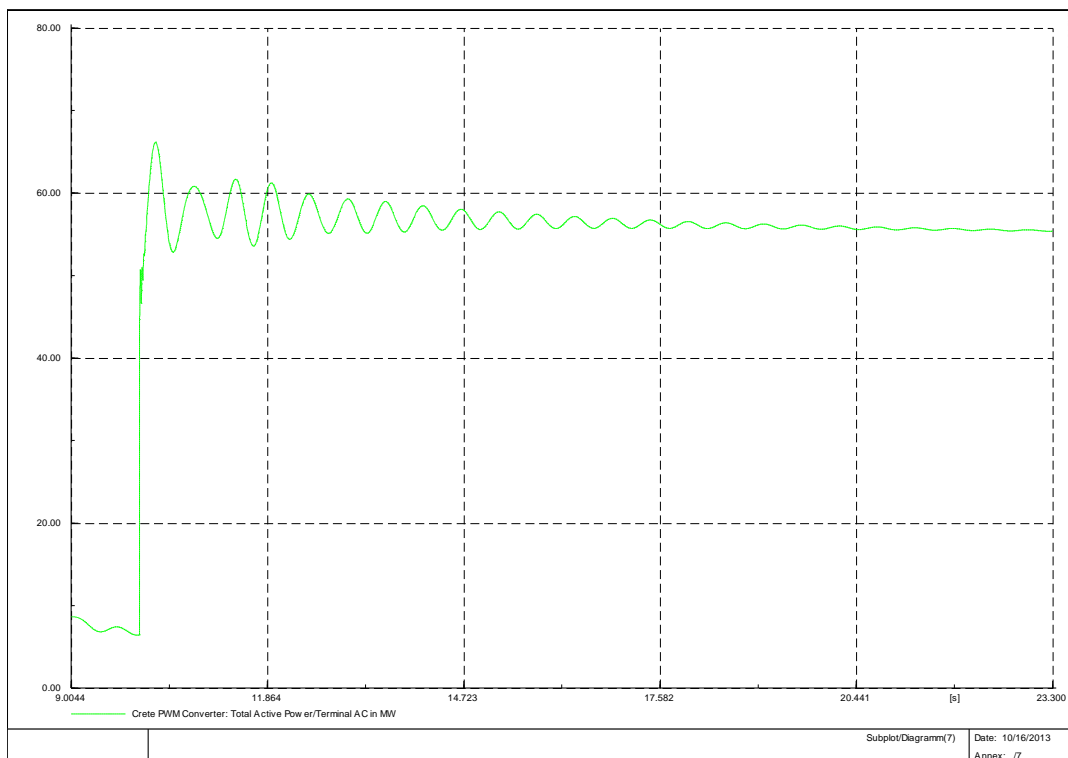


Εικόνα 219: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

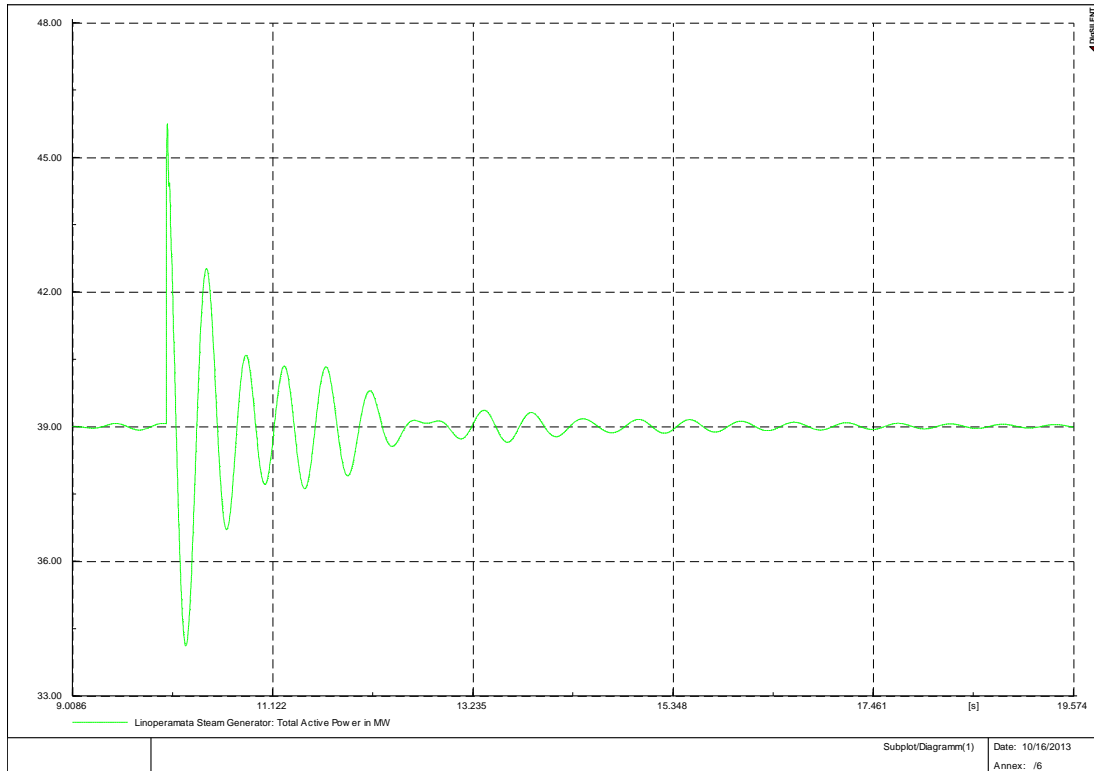


Εικόνα 220: Συχνότητα Συστήματος

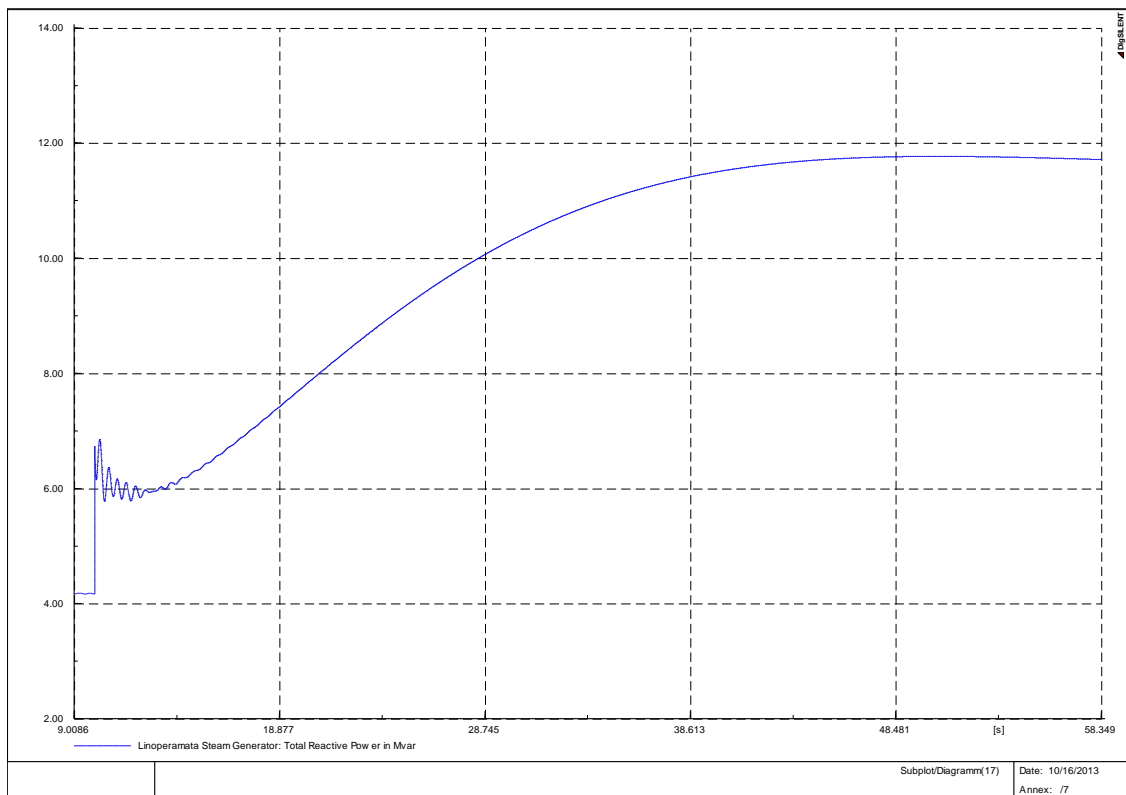


Εικόνα 221: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

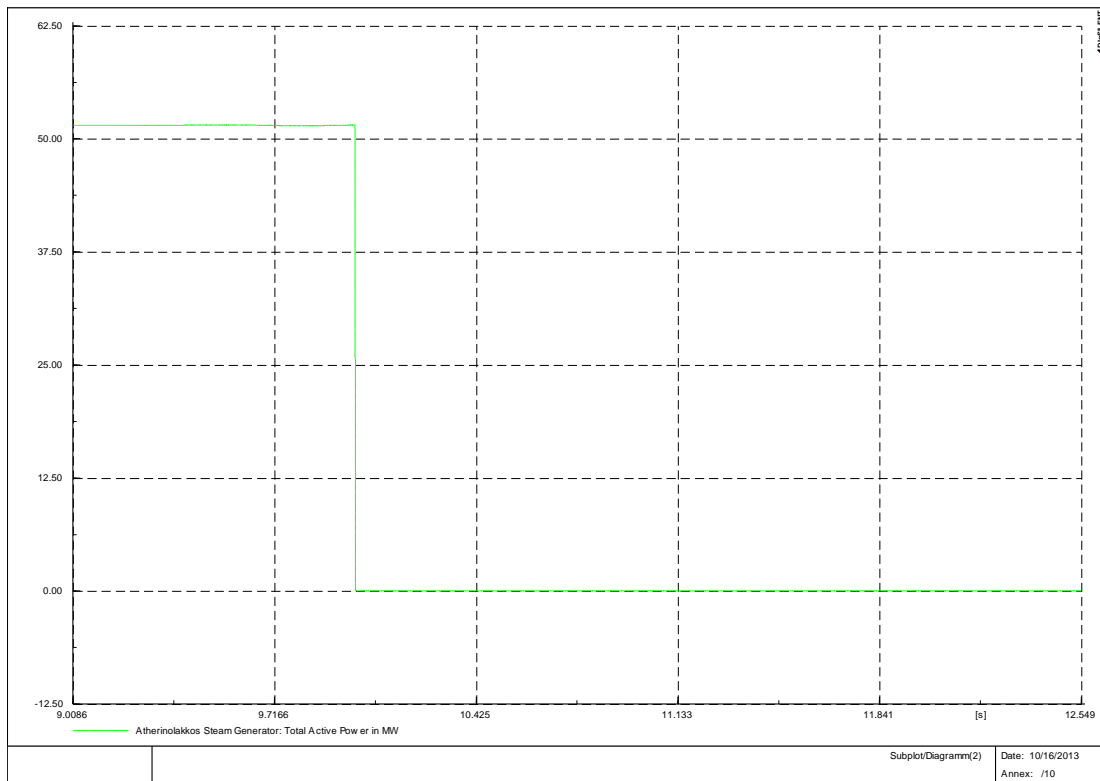


Εικόνα 222: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

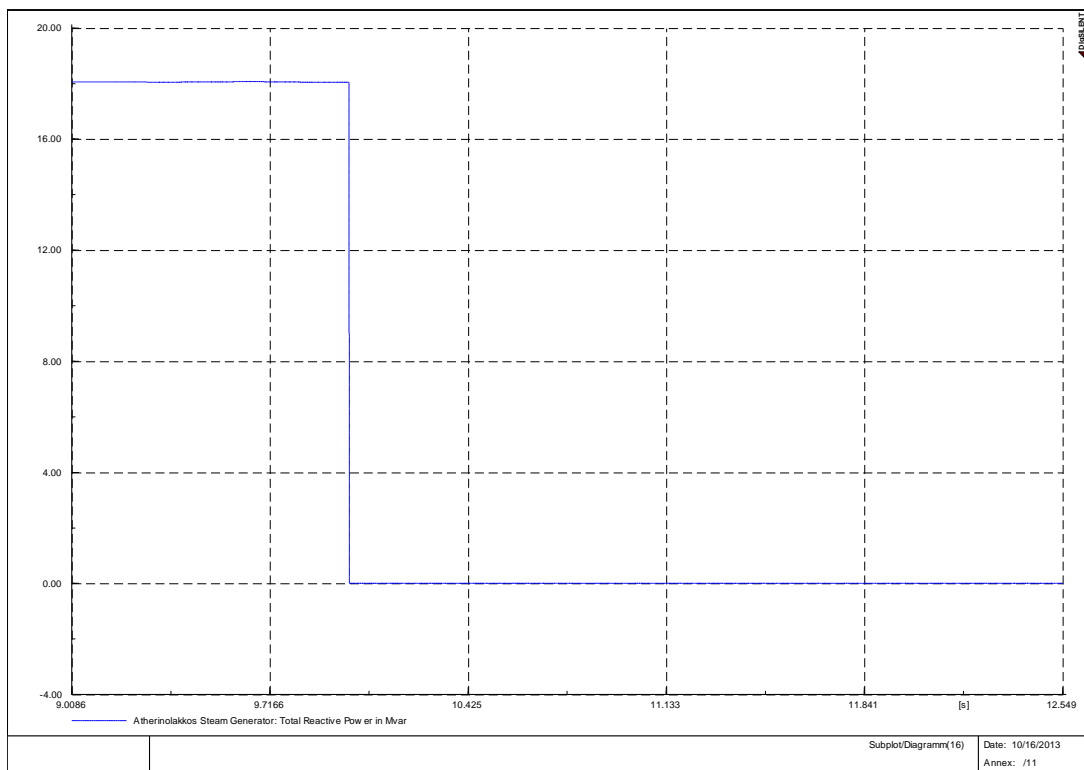


Εικόνα 223: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

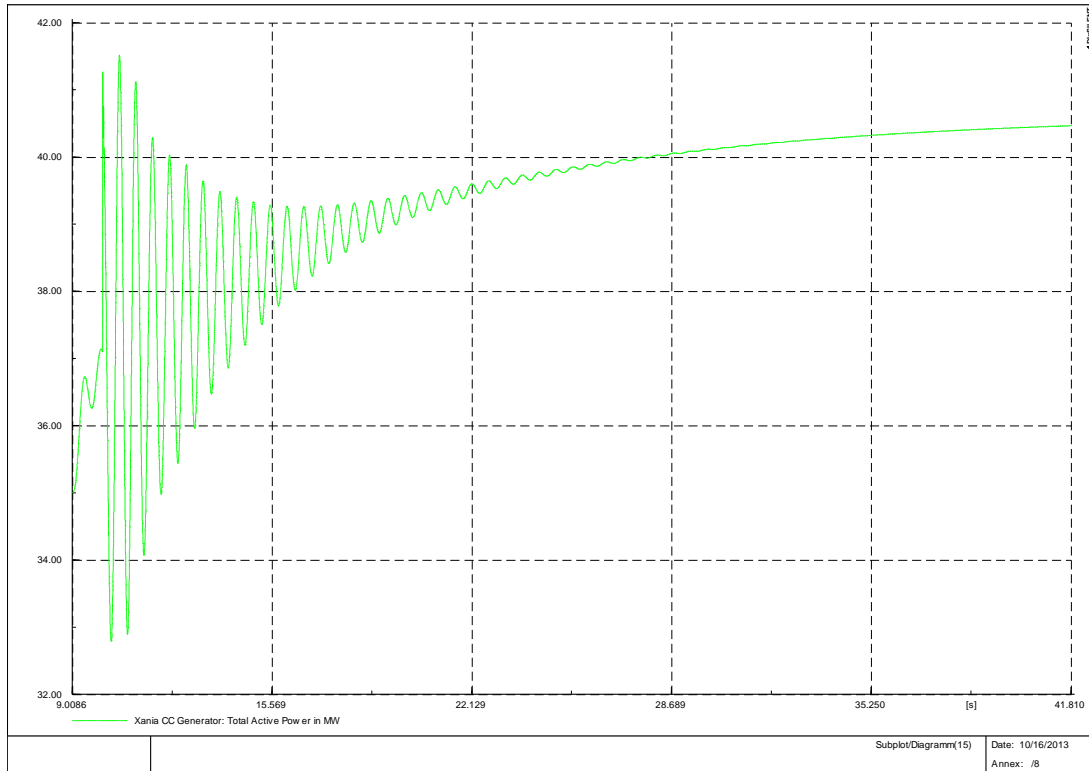


Εικόνα 224: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

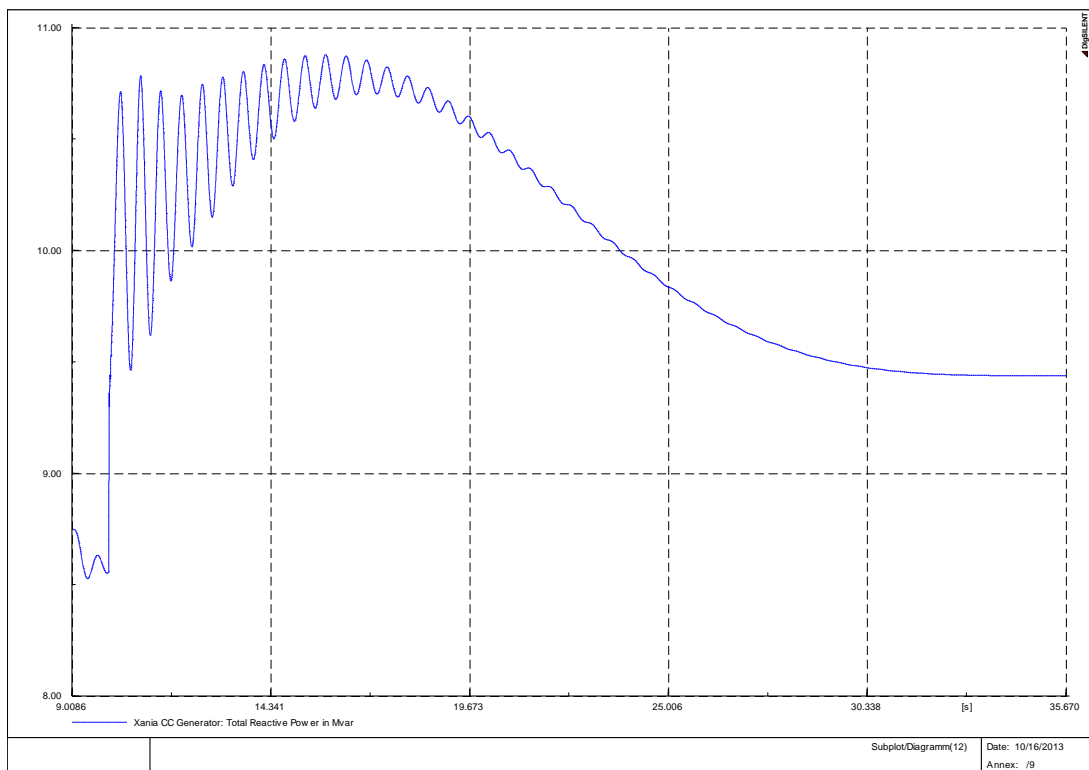


Εικόνα 225: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 226: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

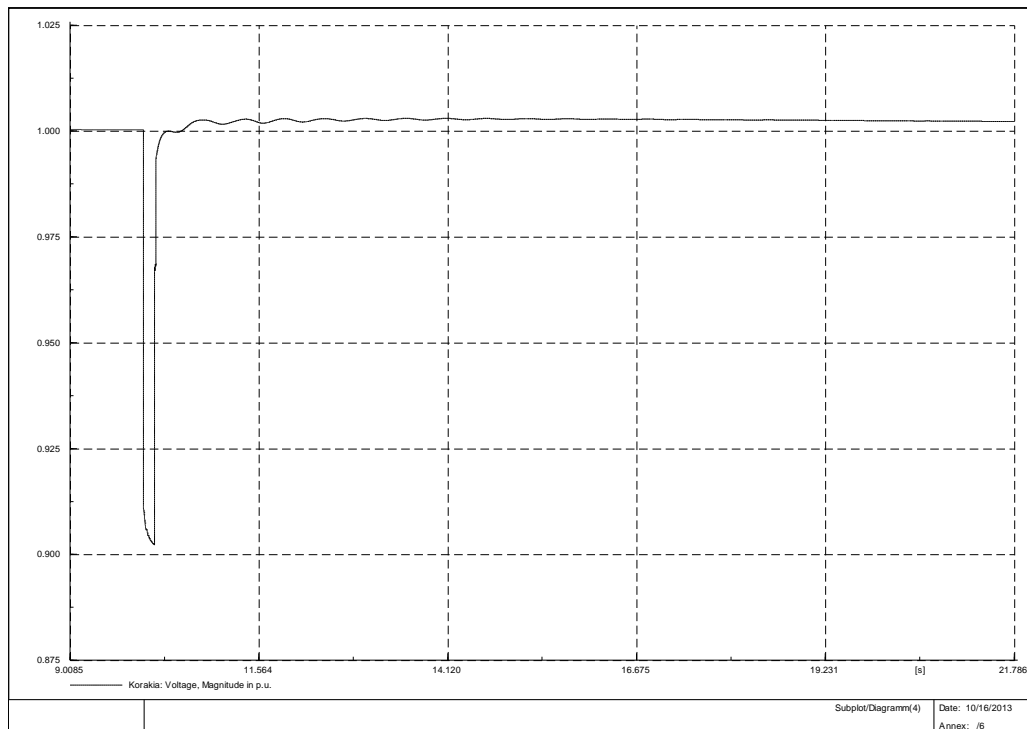


Εικόνα 227: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

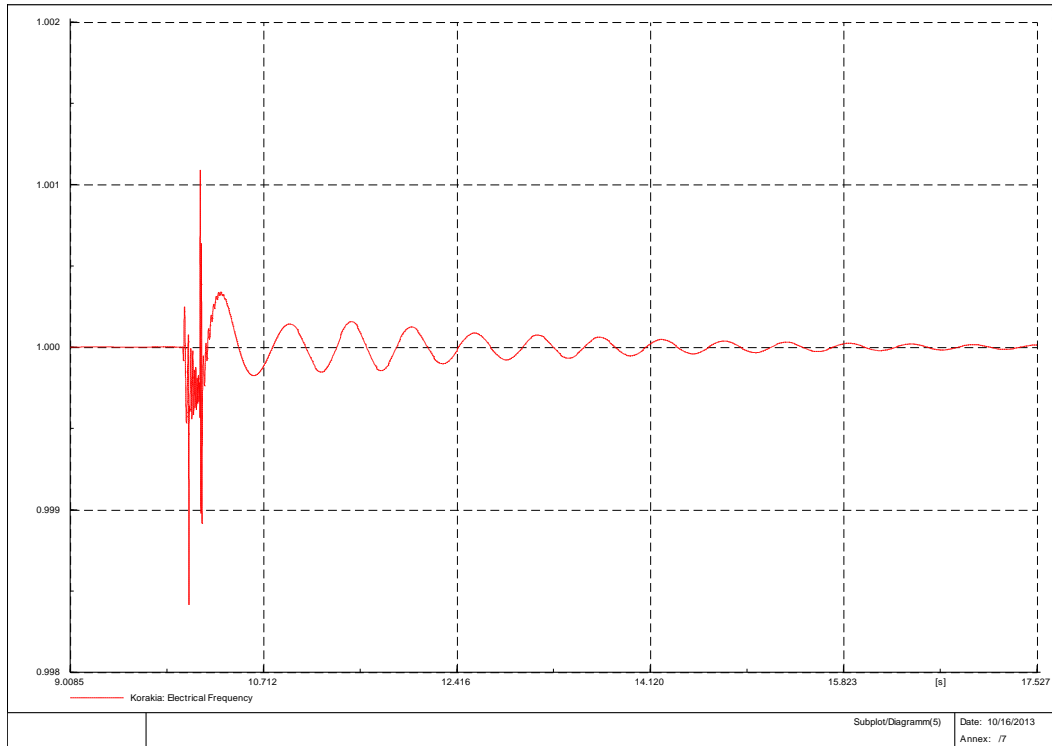
Εδώ η συμβολή της διασύνδεσης είναι καθοριστική, αφού στην αντίστοιχη κατάσταση χωρίς σύνδεση το σύστημα κατέρρευε. Εδώ η χαμένη ενεργός ισχύς από το σταθμό που τίθεται εκτός παρέχεται εν μέρει από το συνδυασμένο κύκλο και το υπόλοιπο από τη διασύνδεση. Οι τάσεις έχουν πολύ μικρή απόκλιση από τις τιμές τους και η συχνότητα επανέρχεται πολύ γρήγορα.

Διαταραχή 2: Βραχυκύκλωμα στο ζυγό της Σητείας

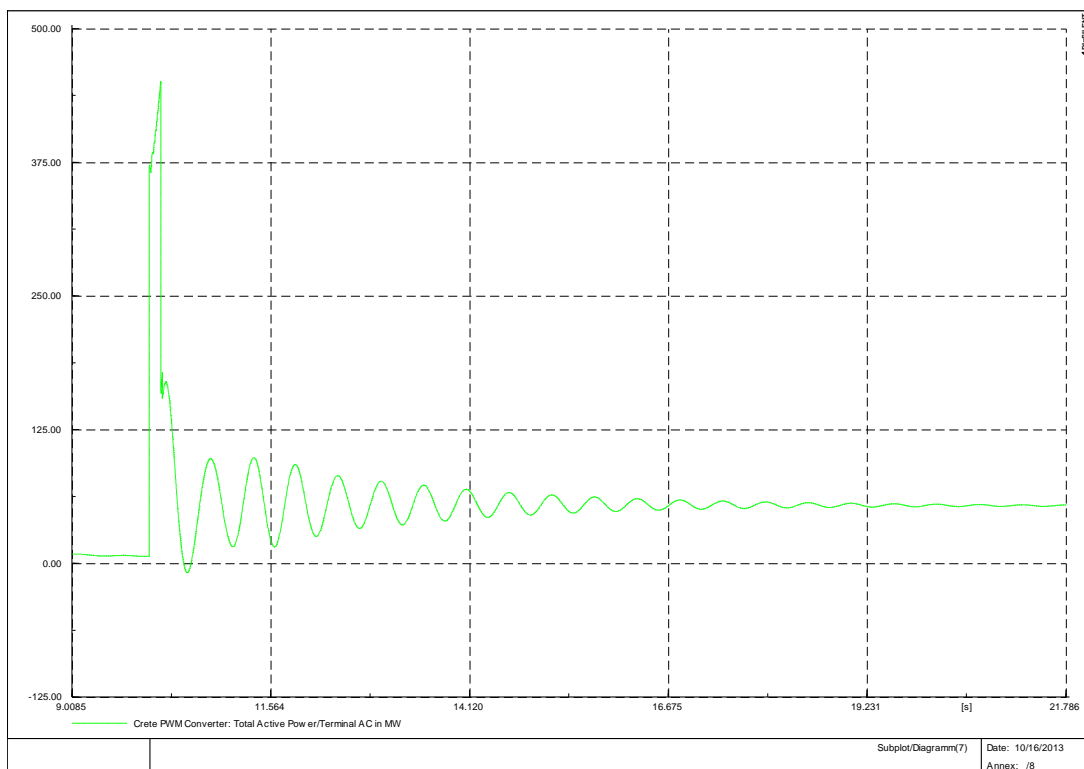


Εικόνα 228: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

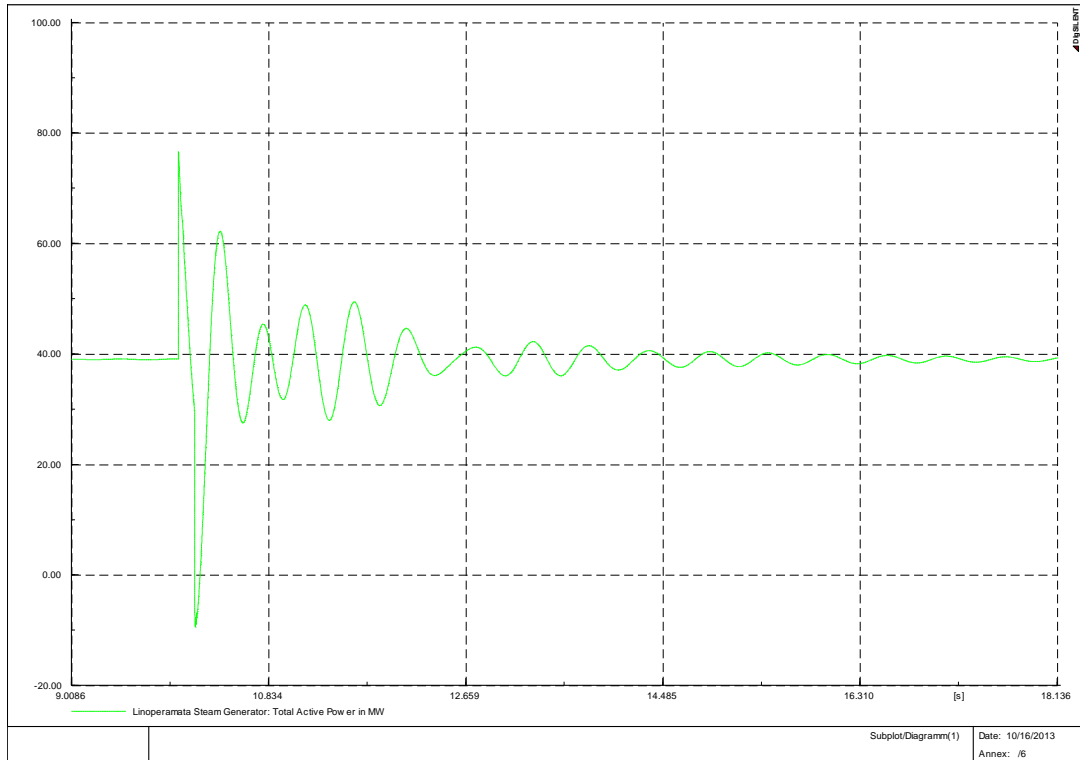


Εικόνα 229: Συχνότητα Συστήματος

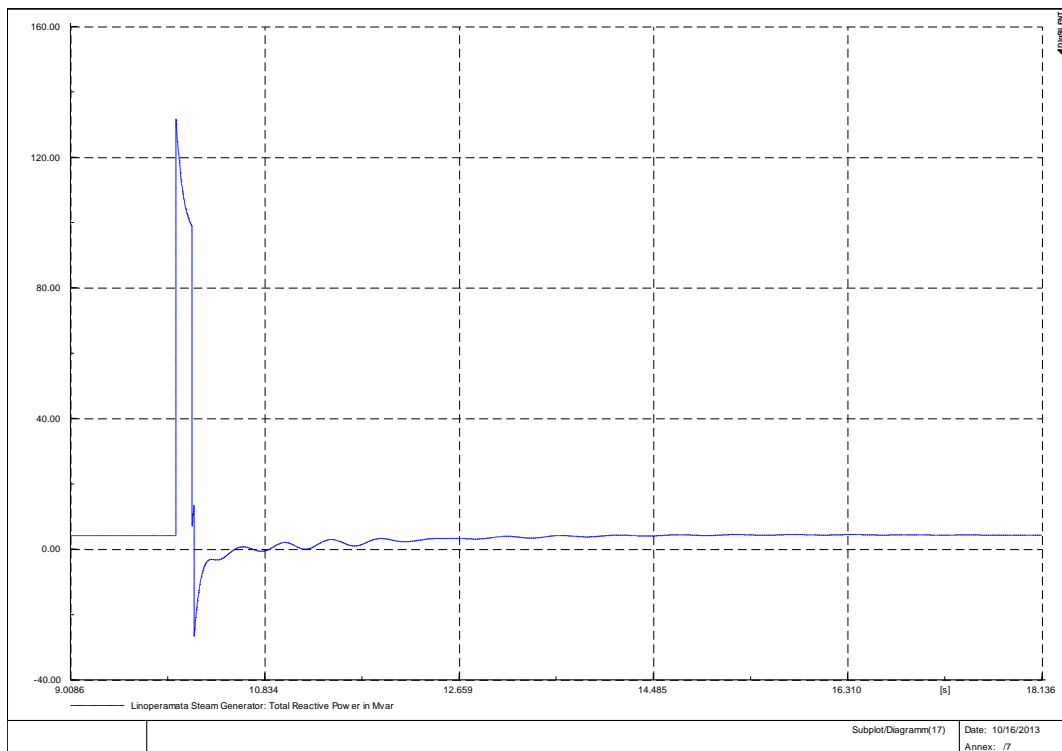


Εικόνα 230: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

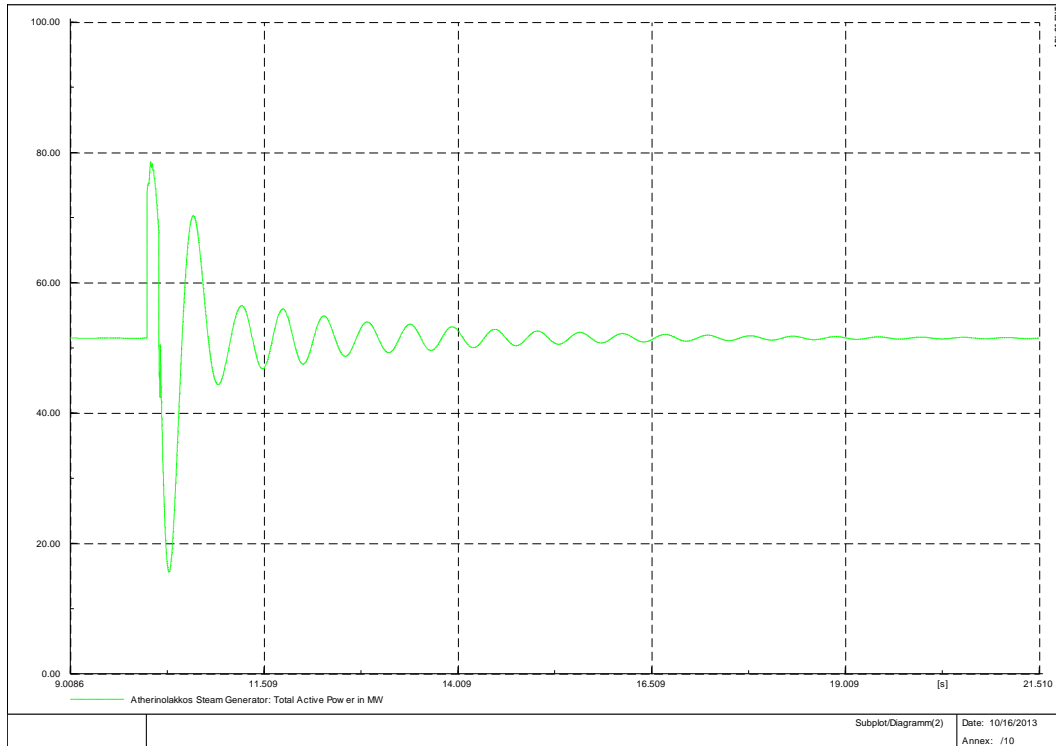


Εικόνα 231: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

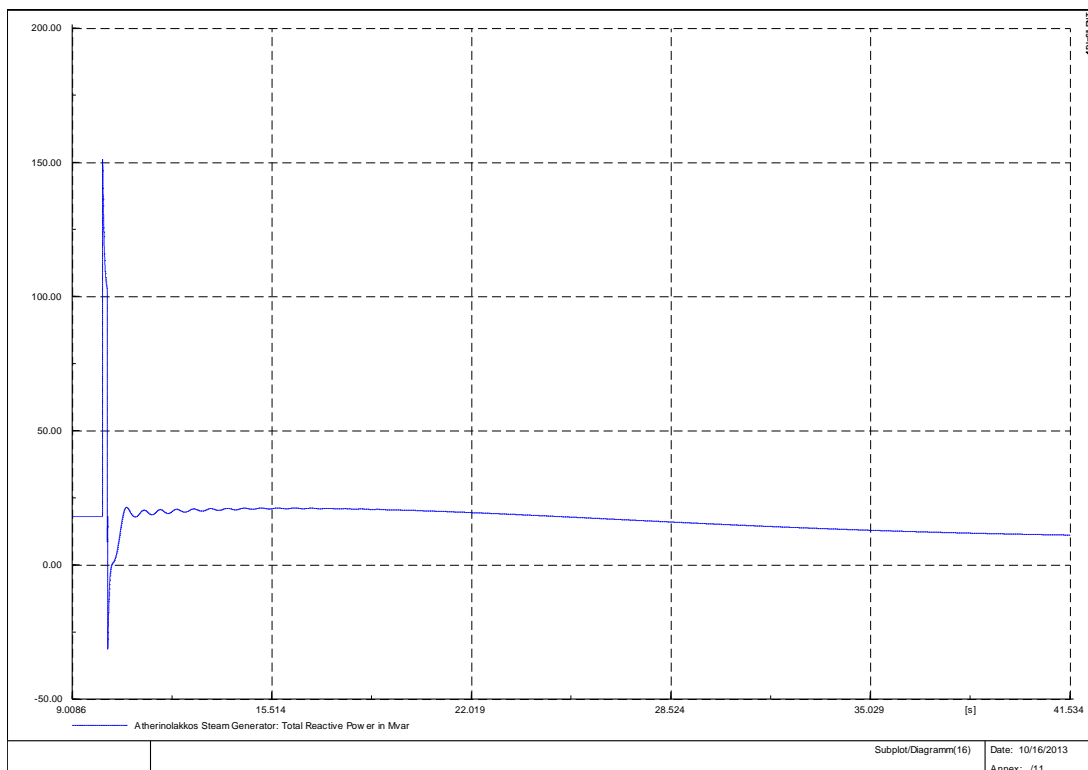


Εικόνα 232: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

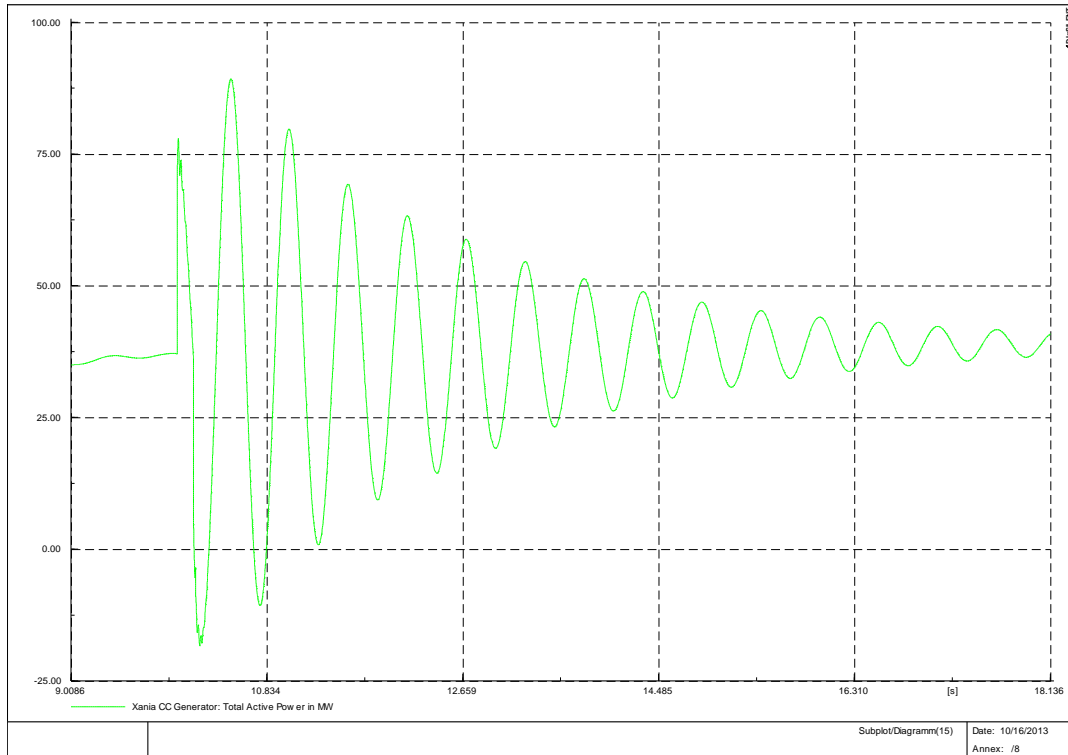


Εικόνα 233: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

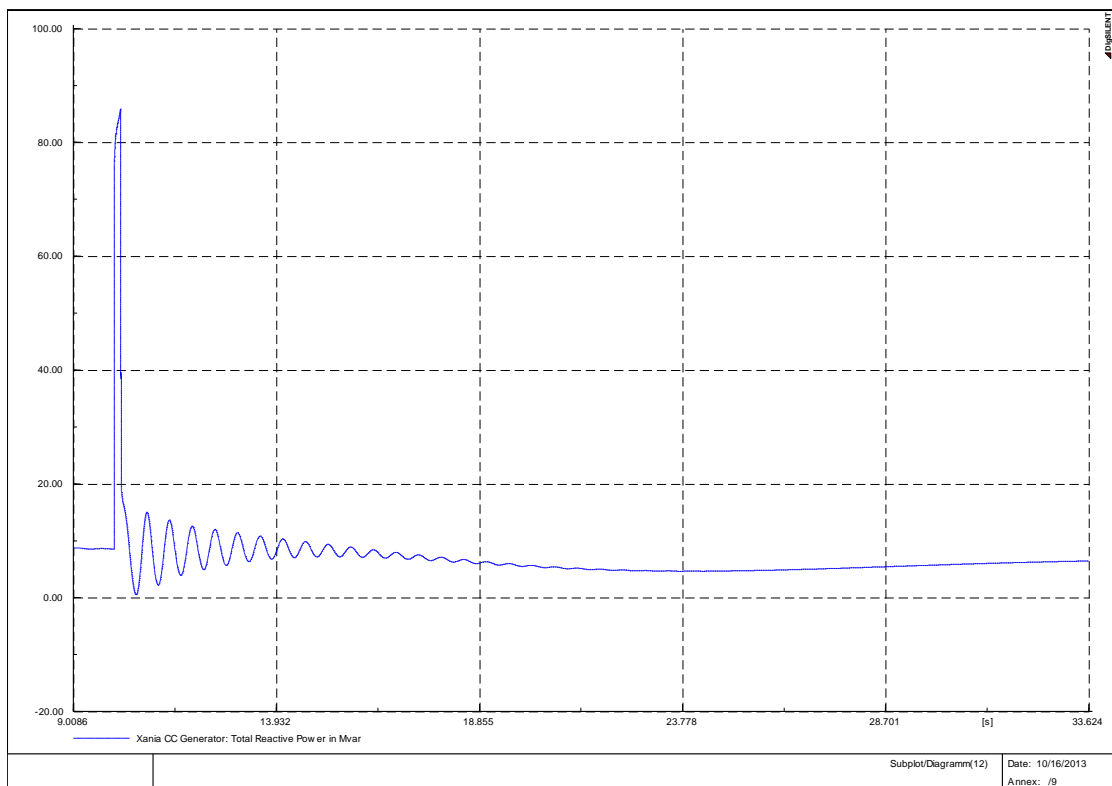


Εικόνα 234: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

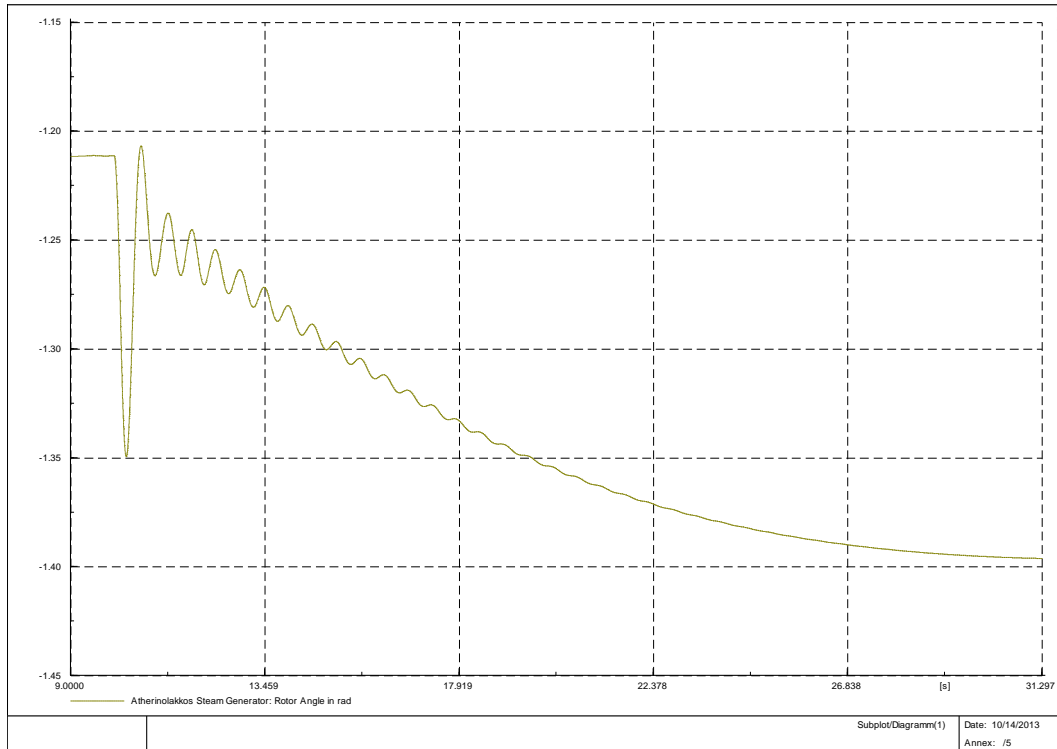


Εικόνα 235: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χαλίων

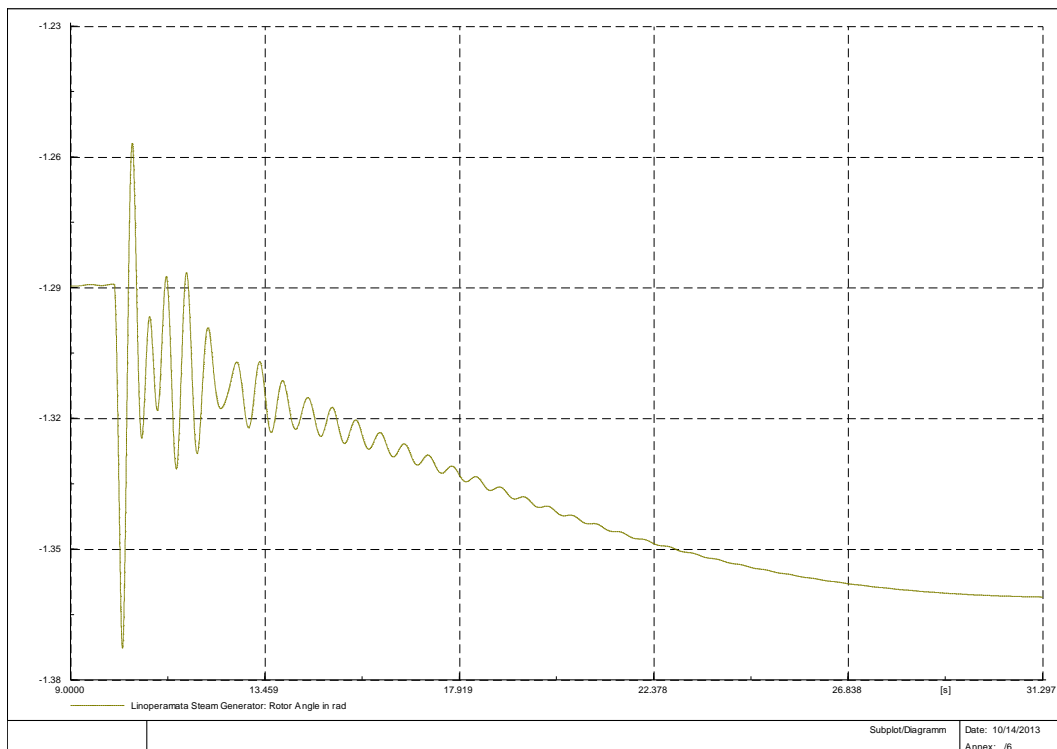


Εικόνα 236: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χαλίων

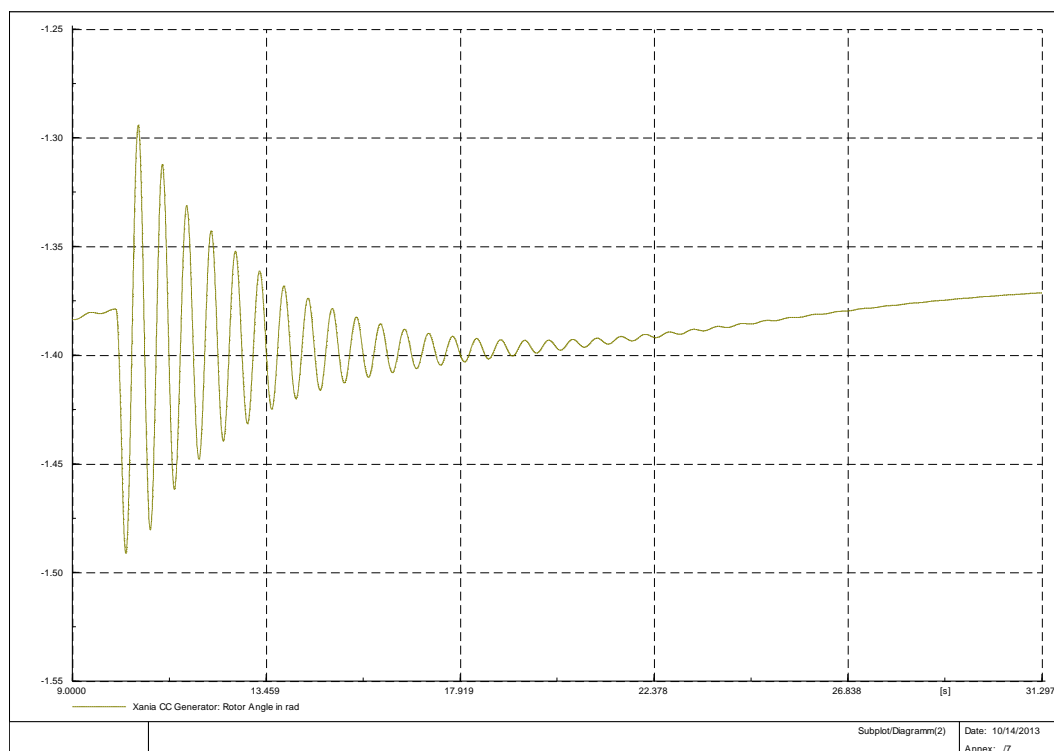
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 237: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλου Αθερονόλακκου



Εικόνα 238: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλου Λινοπεραμάτων



Εικόνα 239: Γωνία Δρομέα Συνδεδασμένου Κύκλου Χαλίων

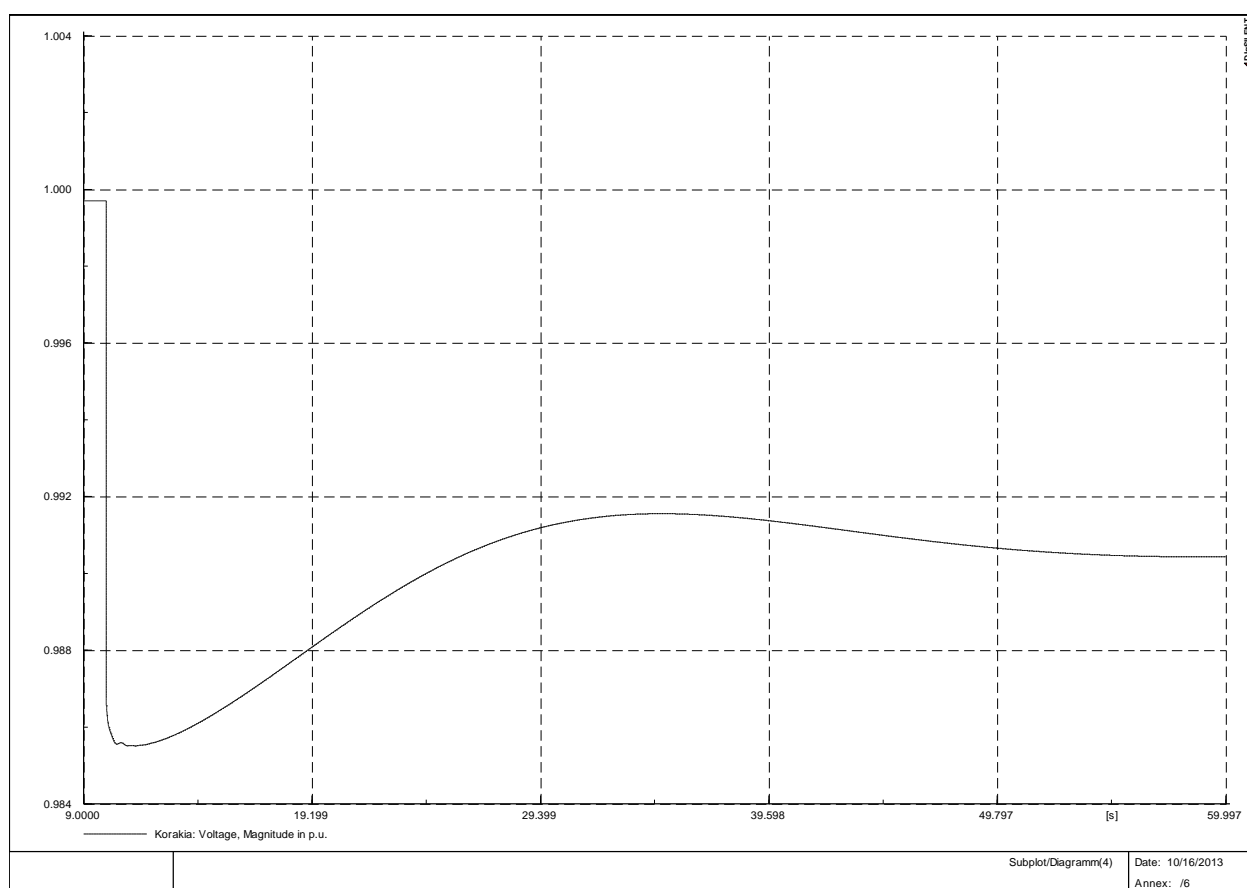
Εδώ το σύστημα αντιδρά πολύ καλύτερα σε σχέση με πριν. Η συχνότητα έχει ελάχιστο κυματισμό και συγκλίνει πολύ πιο γρήγορα προς την ευστάθεια. Όσον αφορά το βραχυκύκλωμα, παρατηρούμε πως μεγαλύτερα οφέλη έχει από τη διασύνδεση το σύστημα σε χαμηλή φόρτιση παρά σε πλήρη. Η διασύνδεση καλύπτει πλήρως την απώλεια των δύο αιολικών σταθμών που βγαίνουν έξω (Σητεία και Μαρωνιά, συνολικά 50 MW).

6.3 Λειτουργία με διασύνδεση και με τροποποιημένη παραγωγή στο νησί

Στις δοκιμές αυτές έγινε μια μετακύλιση μεγάλου ποσοστού της παραγωγής ισχύος από τους σταθμούς του νησιού στη διασύνδεση, ώστε να διαπιστωθεί η σωστή λειτουργία του συστήματος στην περίπτωση αυτή. Η κατανομή της παραγωγής φαίνεται στον πίνακα 5.

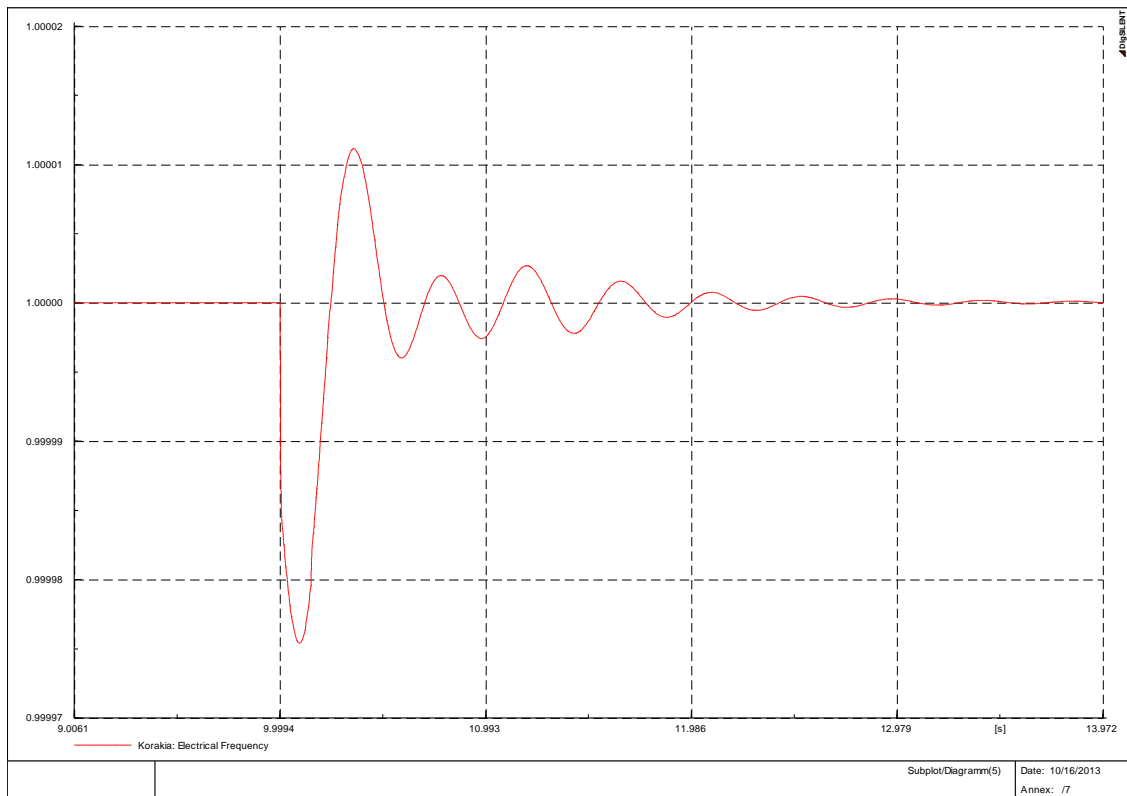
6.3.1 Σενάριο 1

Διαταραχή 1: Απώλεια Συνδυσασμένου Κύκλου Χανίων

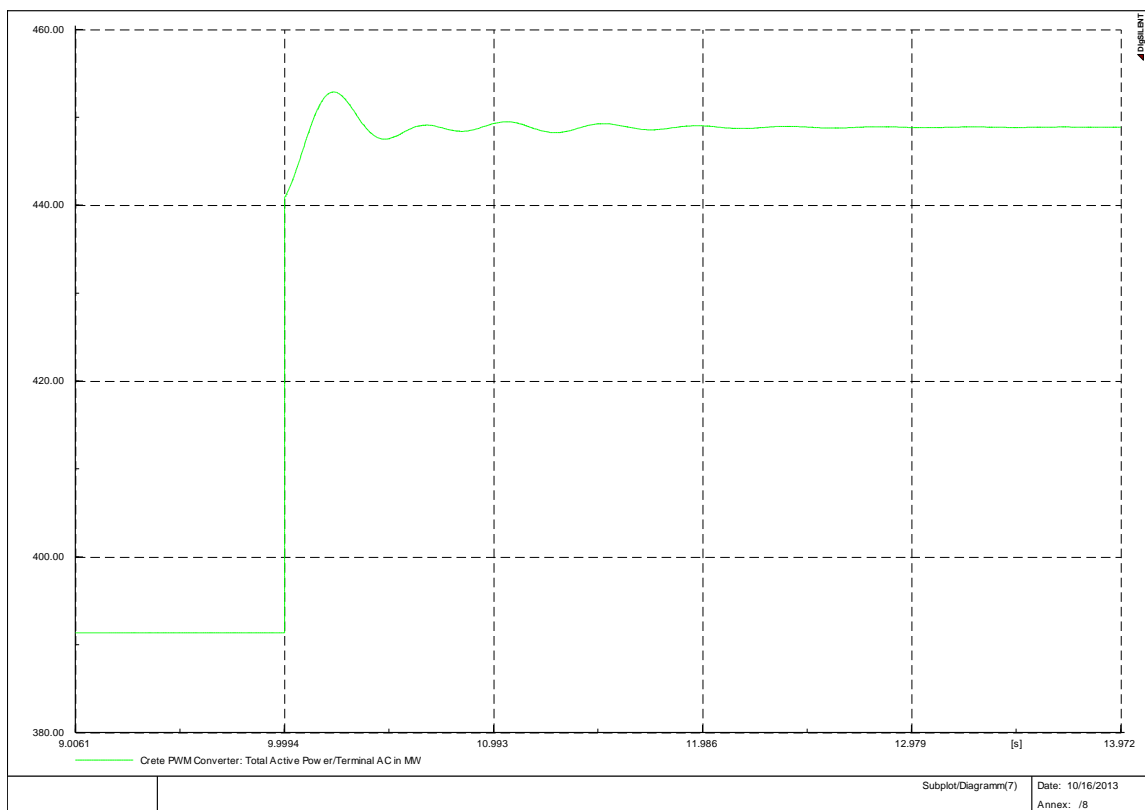


Εικόνα 240: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

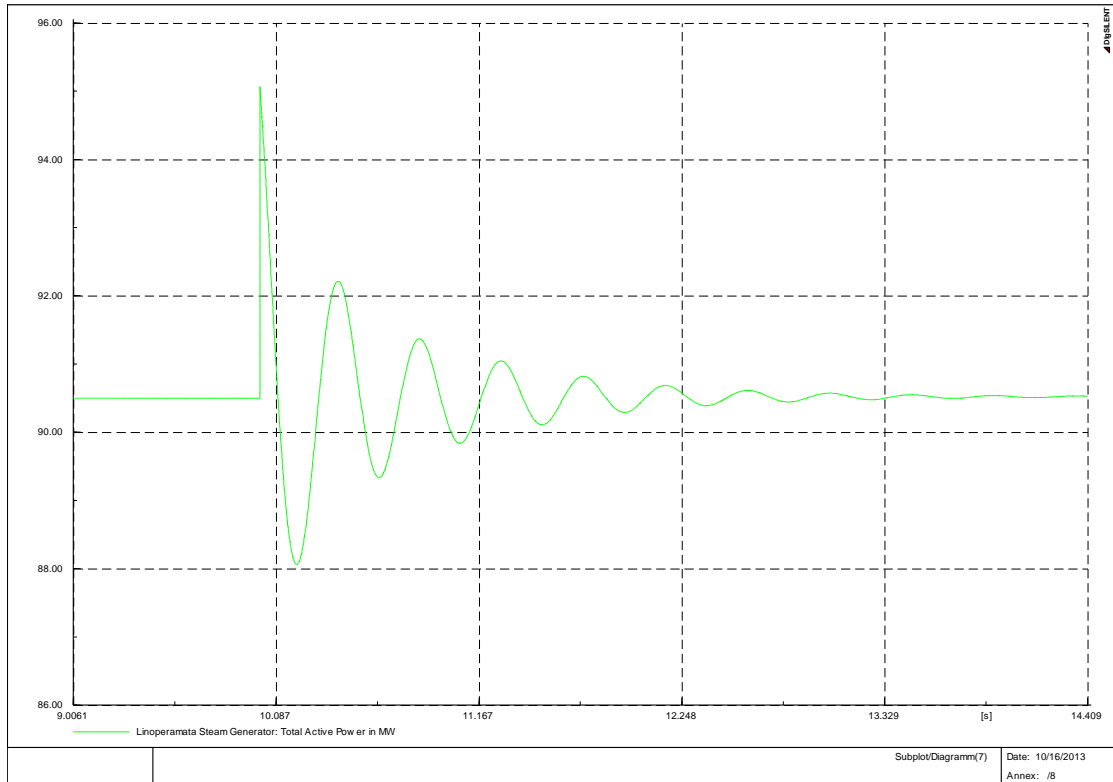


Εικόνα 241: Συχνότητα Συστήματος

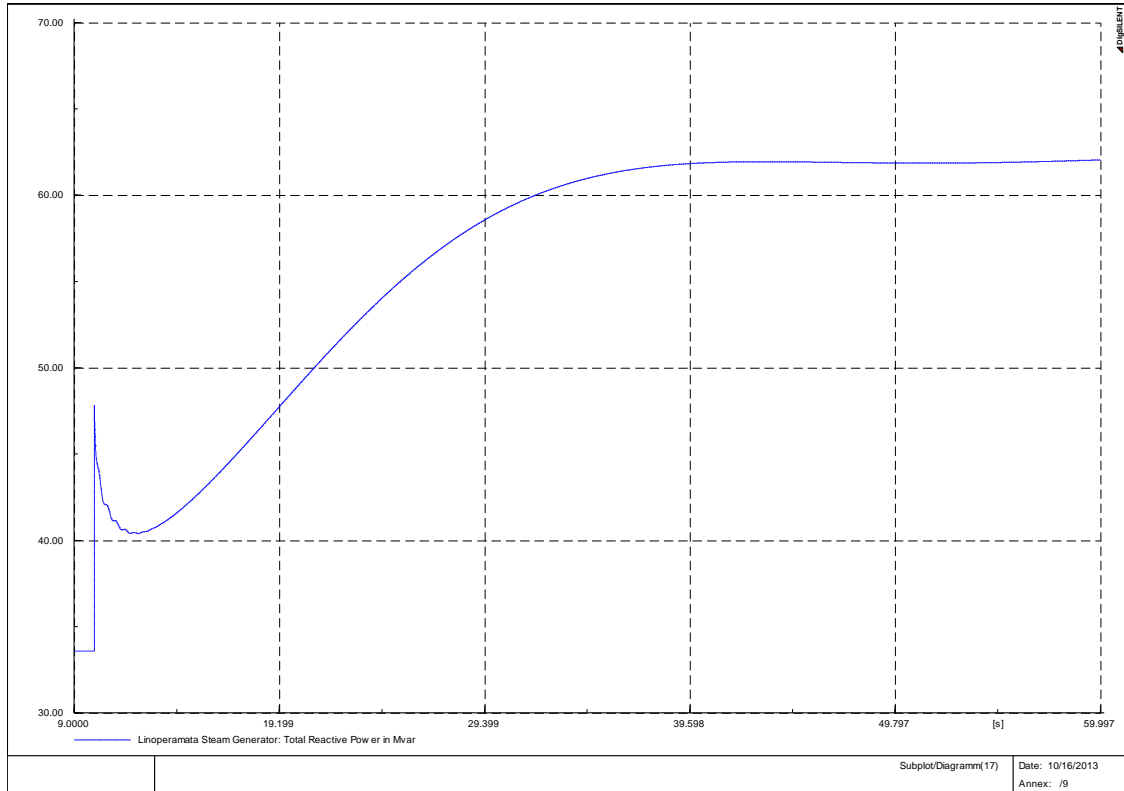


Εικόνα 242: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

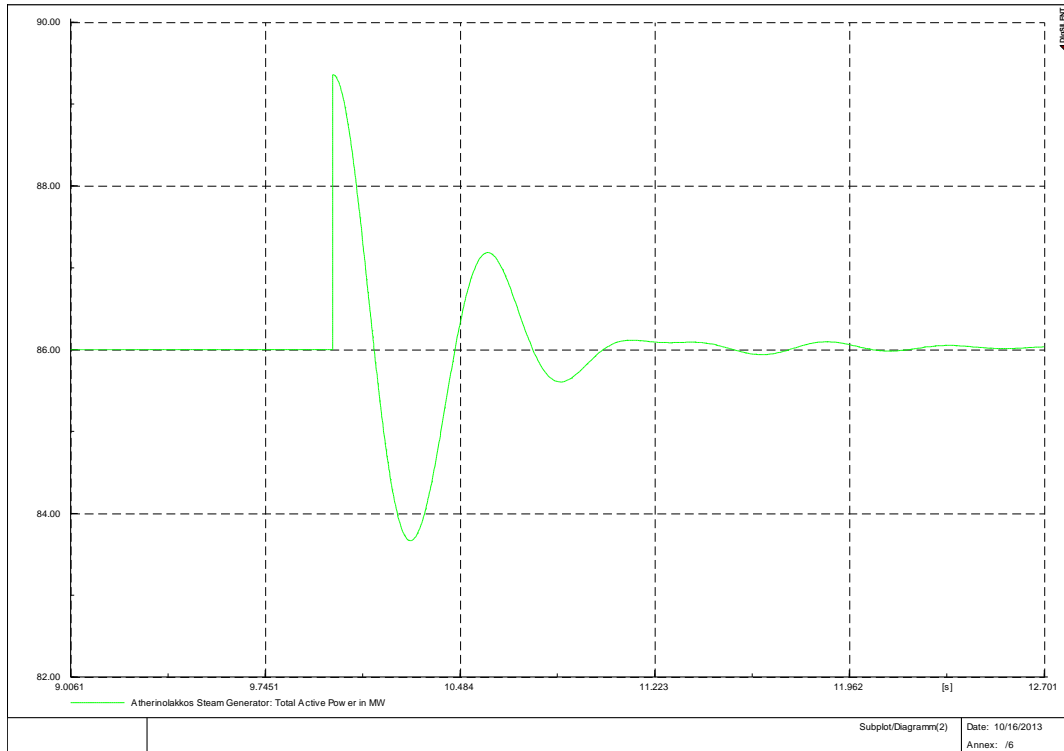


Εικόνα 243: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

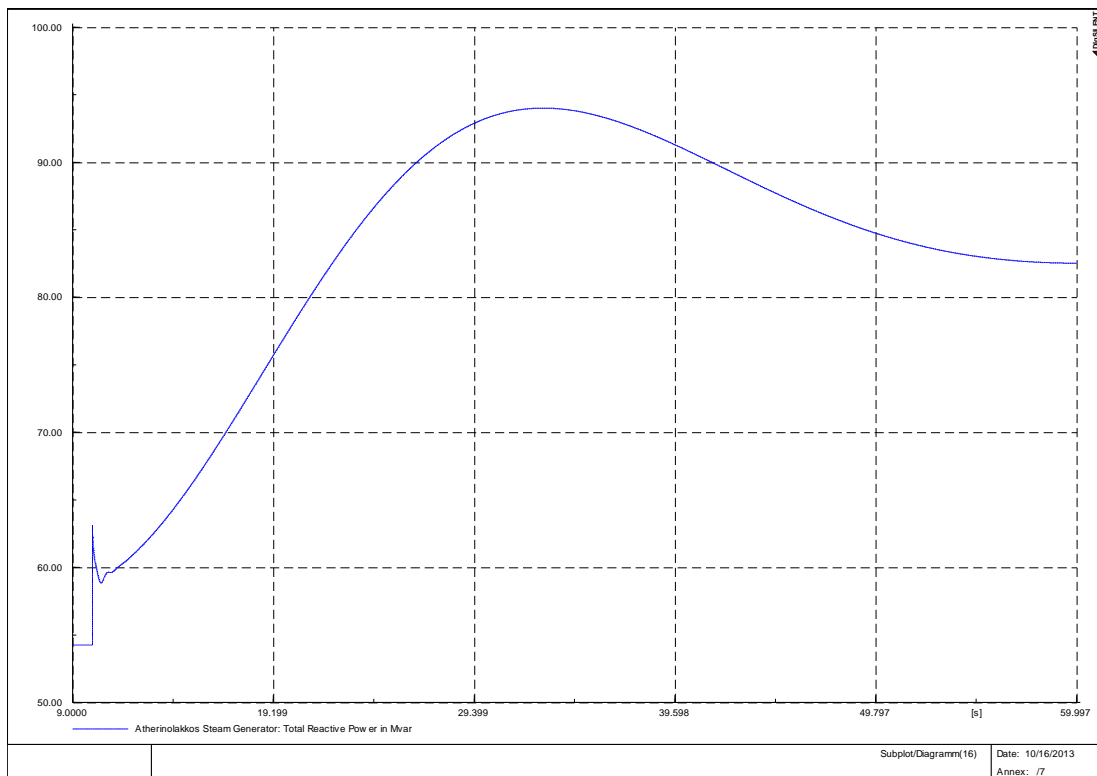


Εικόνα 244: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

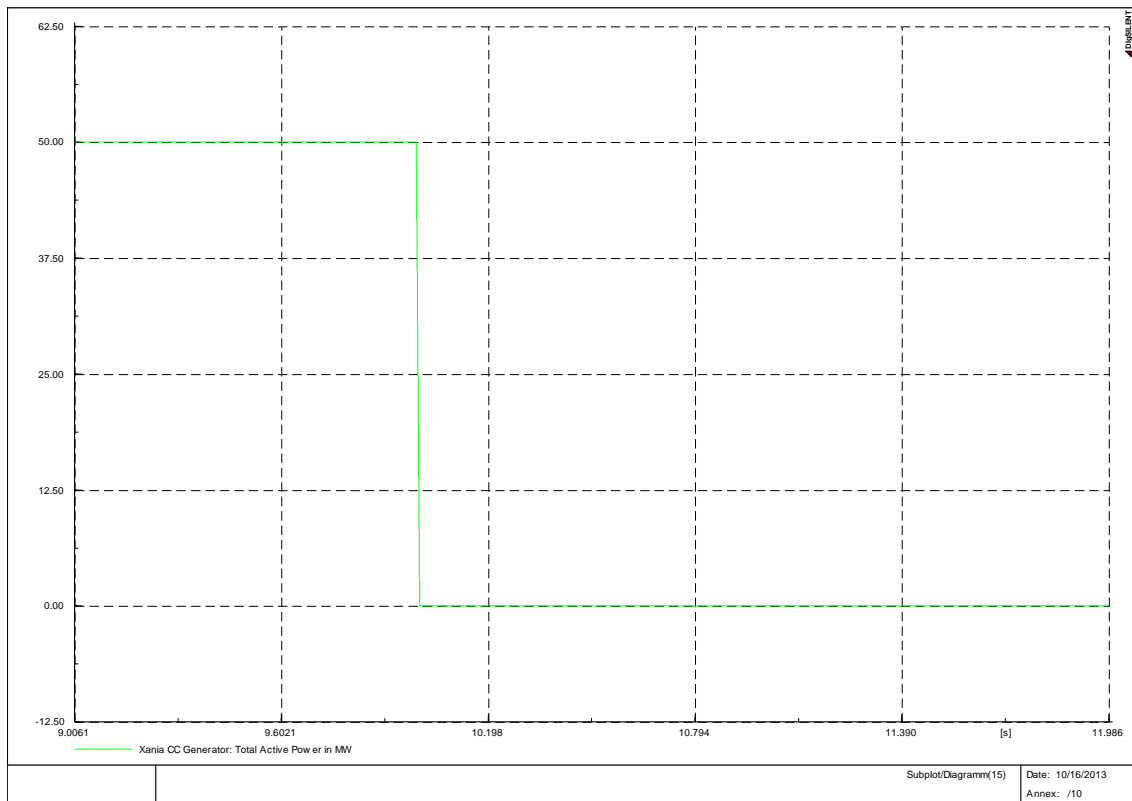


Εικόνα 245: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

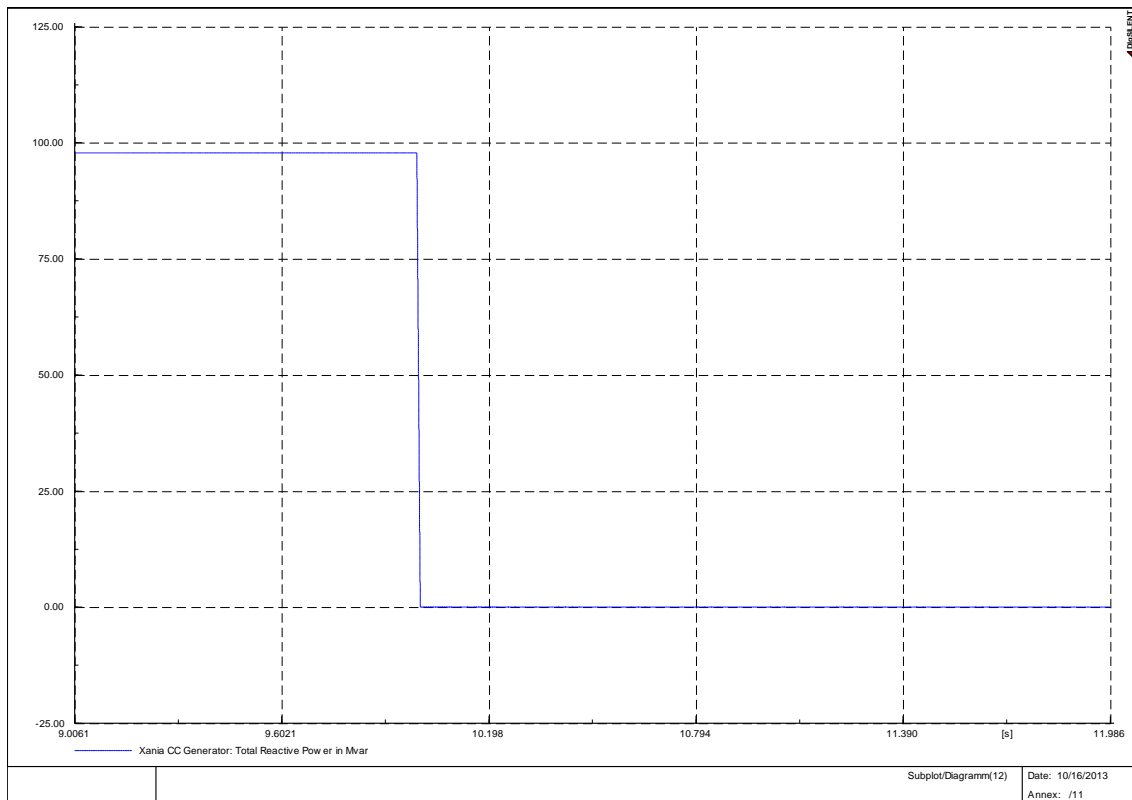


Εικόνα 246: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 247: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

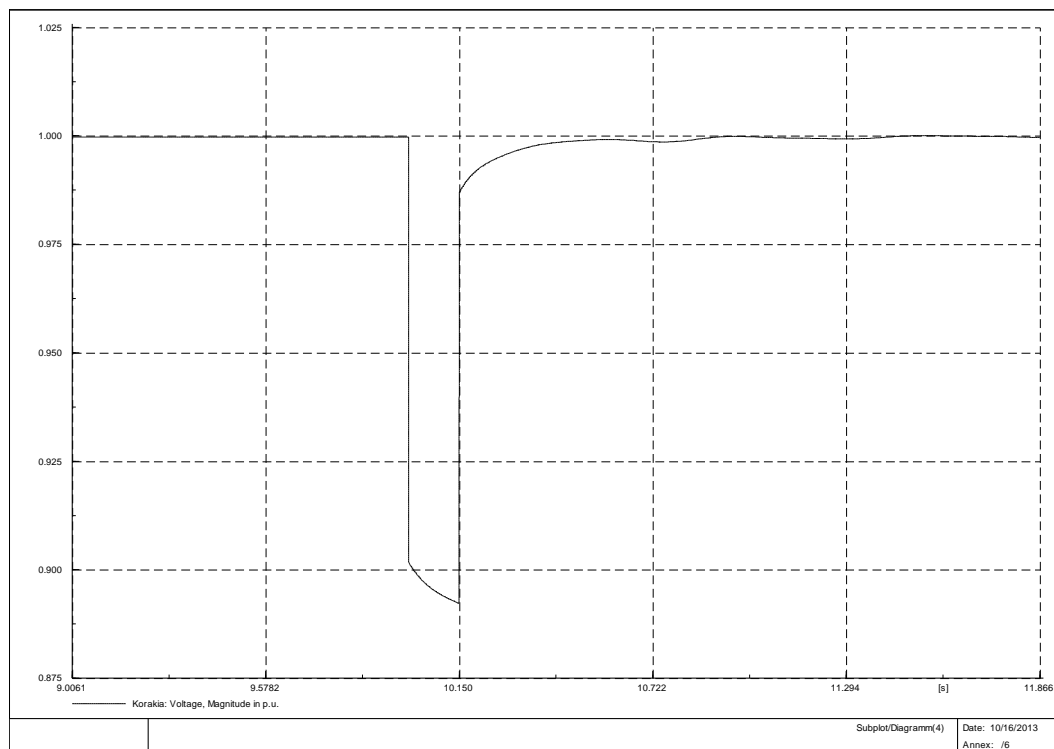


Εικόνα 248: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

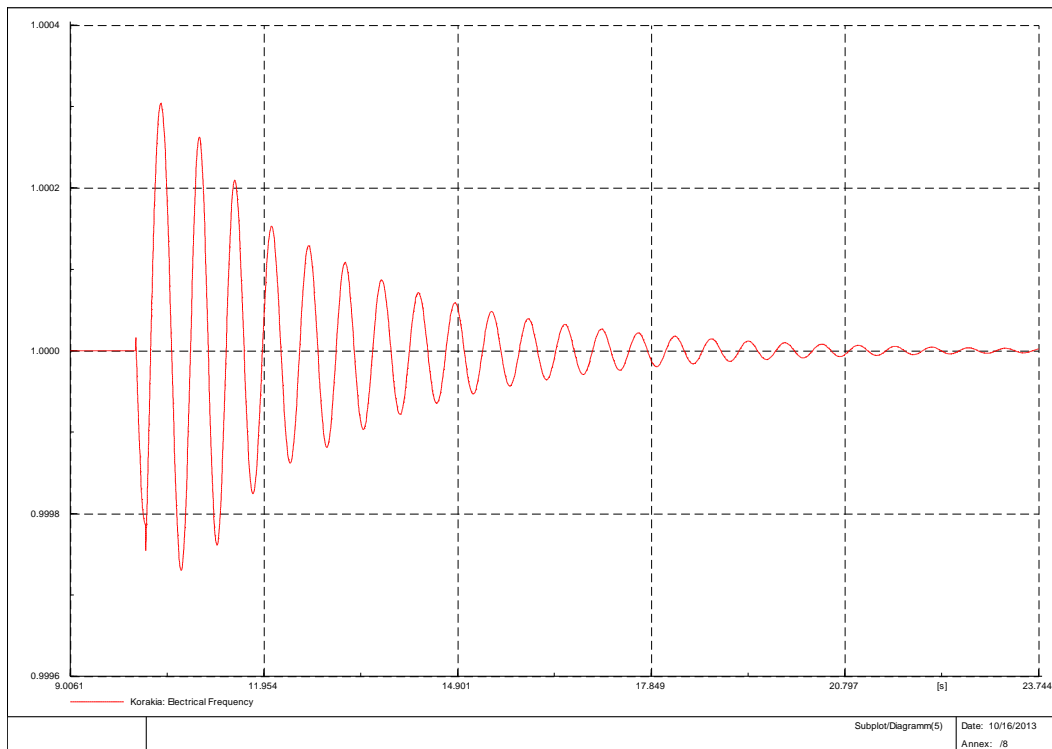
Με τη μειωμένη παραγωγή στο νησί, παρατηρούμε πως η συχνότητα σταθεροποιείται πιο γρήγορα από ποτέ και με μικρότερες διακυμάνσεις, όμως σε κάποιους ζυγούς εμφανίζονται επίμονα χαμηλές τάσεις που δεν επανέρχονται, όπως στα Χανιά (0,84) και στο Ρέθυμνο (0,92). Αυτό κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στο γεγονός ότι οι σταθμοί παράγουν ελάχιστα ενώ πολλοί καθόλου, αλλά η ροή ισχύος στο δίκτυο παραμένει ίδια αφού τα φορτία δεν αλλάζουν. Αυτό στερεί την προηγούμενη ικανότητα που είχαν οι σταθμοί για διατήρηση της τάσης στα φυσιολογικά επίπεδα. Οι αιολικοί σταθμοί μπορεί να παράγουν ενεργό ισχύ για την κάλυψη της ζήτησης, δε διαθέτουν όμως ρυθμιστές τάσης όπως οι συμβατικοί σταθμοί. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ σημαντικό και πρέπει να ληφθεί υπ' όψη κατά τη σχεδίαση της διασύνδεσης. Για την επίλυση του προβλήματος προτείνεται η εγκατάσταση ειδικών διατάξεων στους ζυγούς για την επαναφορά των τάσεων όπου υπάρχει πρόβλημα. Να σημειωθεί πως το αντίστοιχο φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί (σε αρκετά μικρότερο βαθμό) και στα άλλα σενάρια με την τροποποιημένη παραγωγή, επειδή όμως εδώ γίνεται αντικατάσταση συμβατικών μονάδων, η πτώση είναι μεγαλύτερη.

Διαταραχή 2: Βραχυκύκλωμα στο ζυγό Σητείας

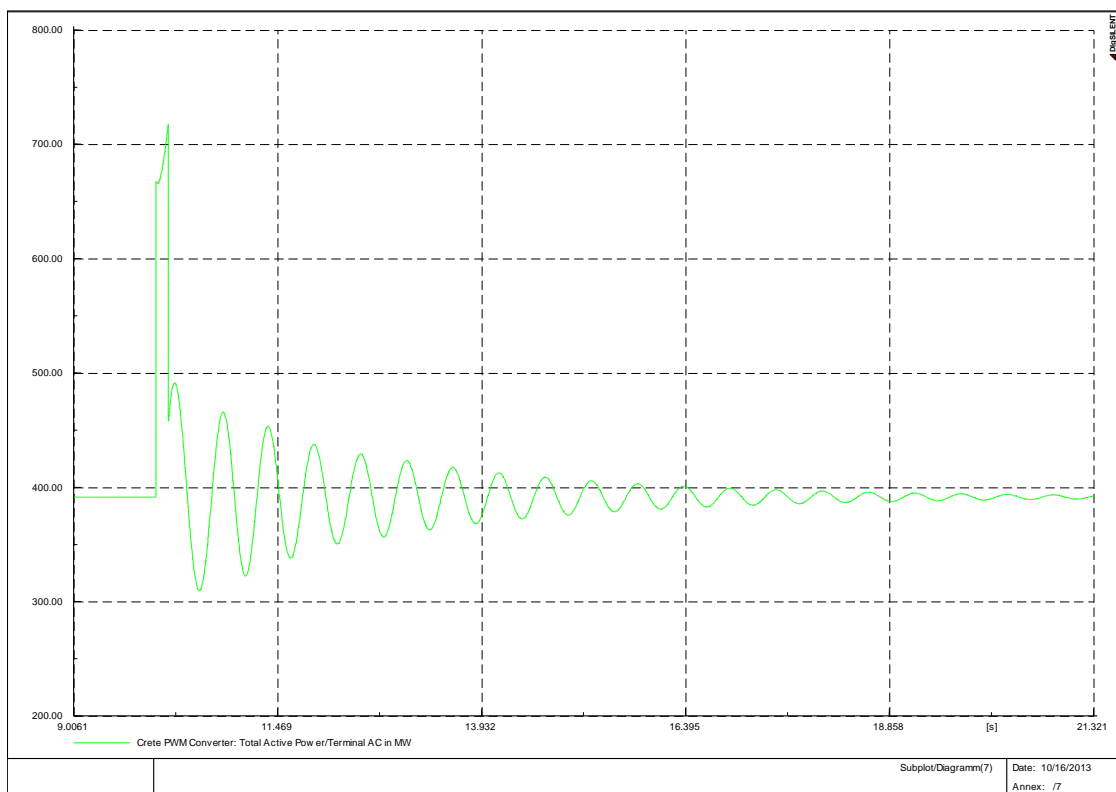


Εικόνα 249: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

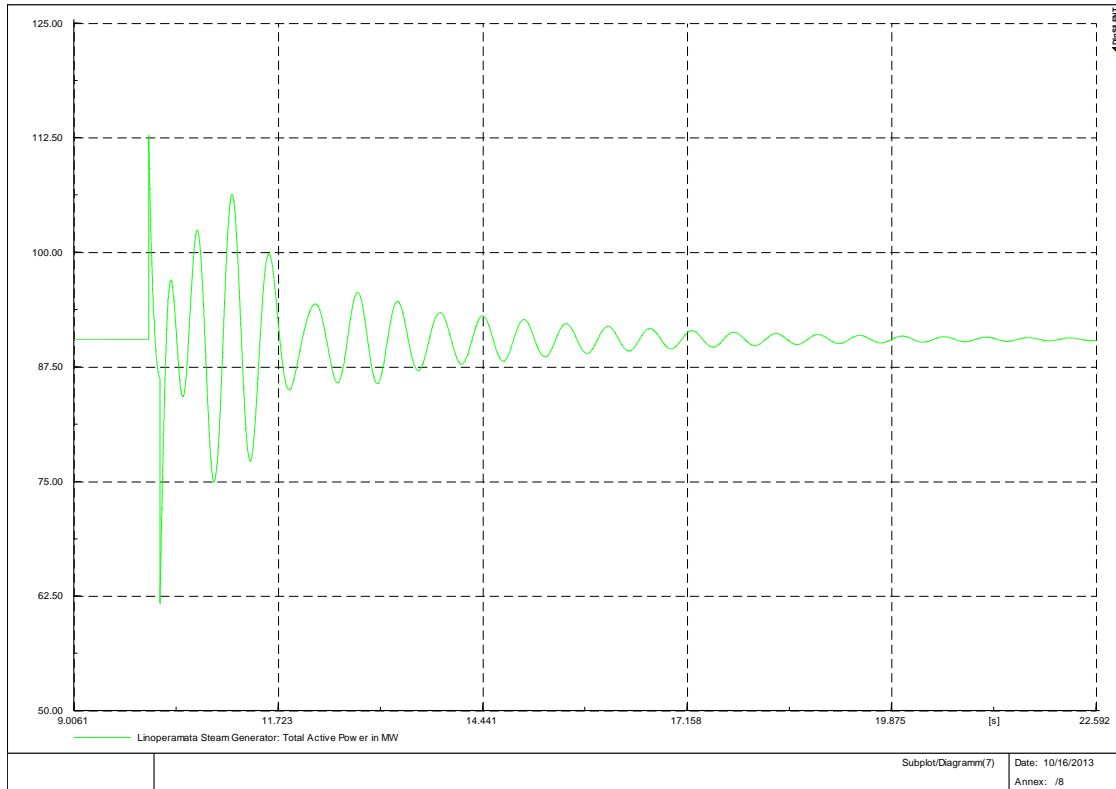


Εικόνα 250: Συχνότητα

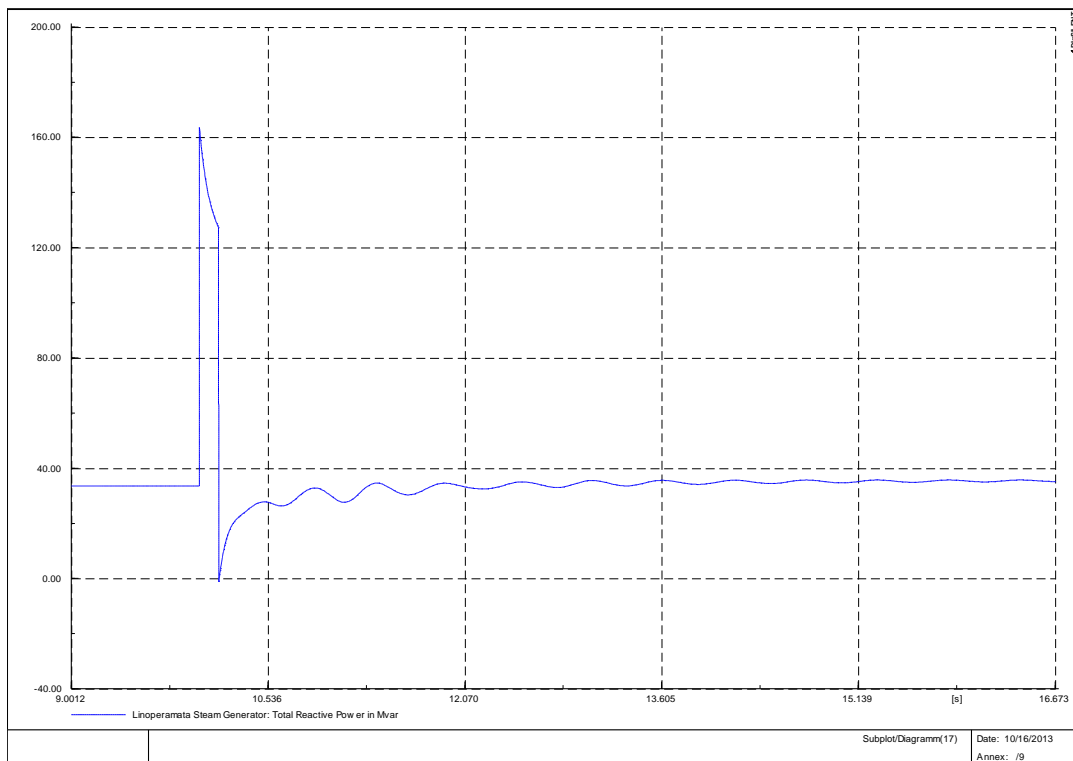


Εικόνα 251: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

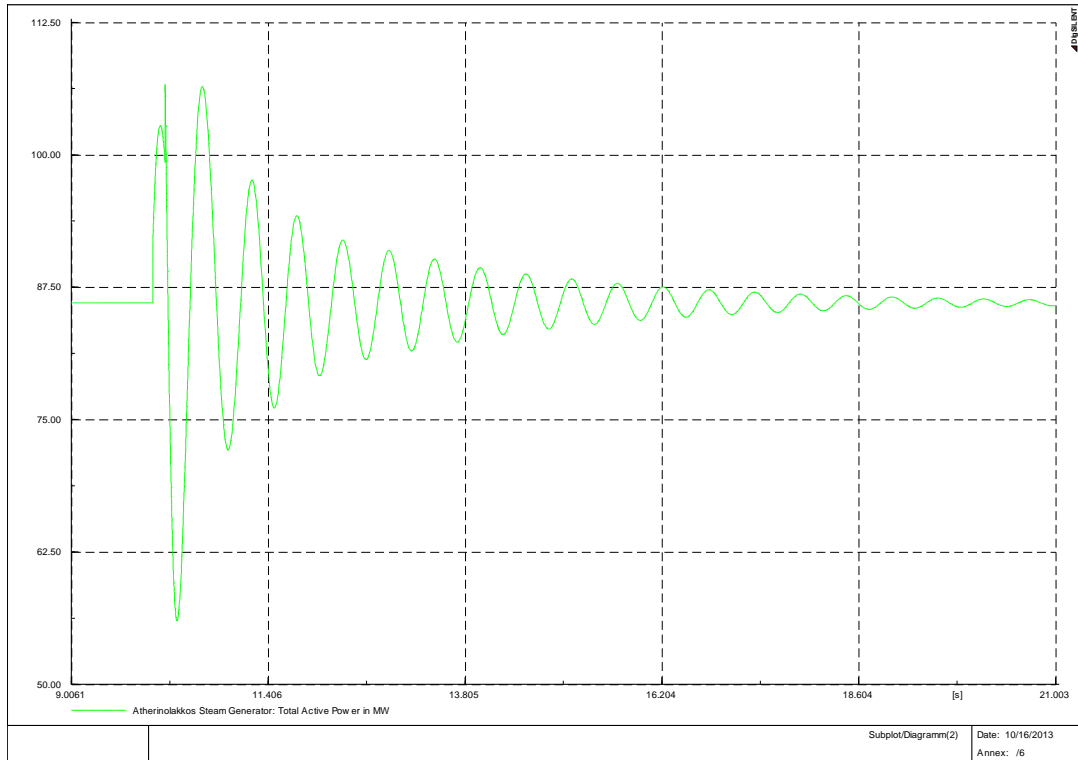


Εικόνα 252: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

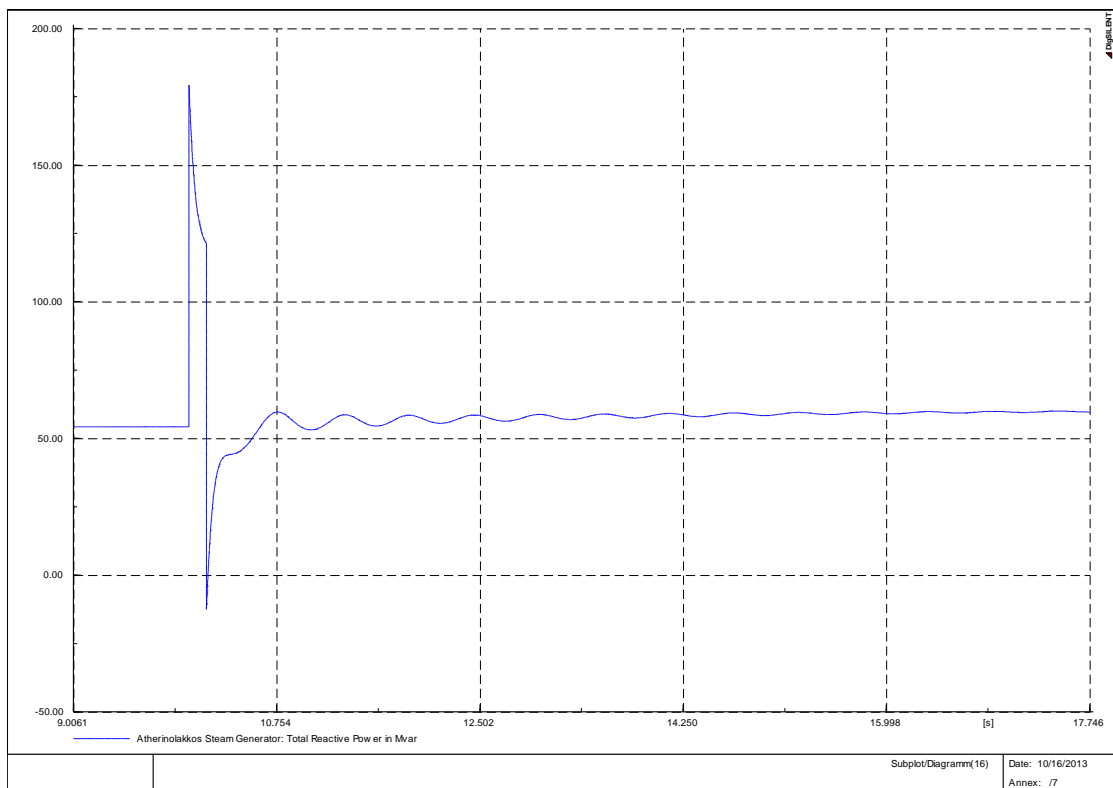


Εικόνα 253: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

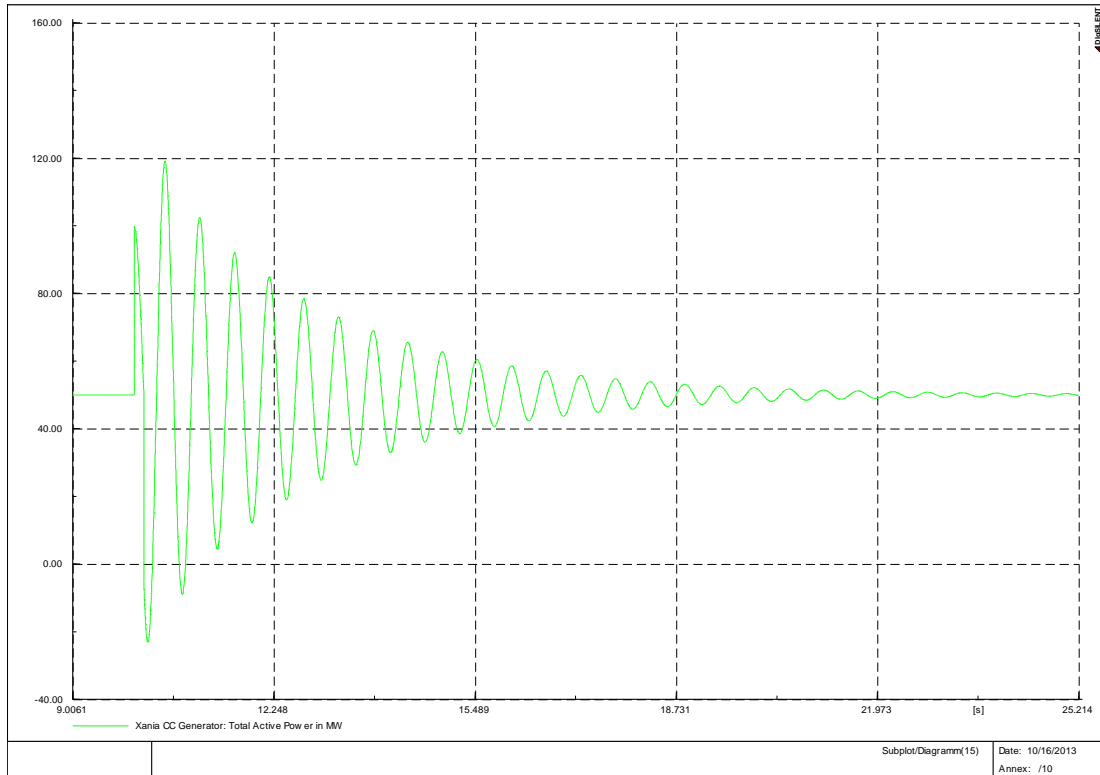


Εικόνα 254: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

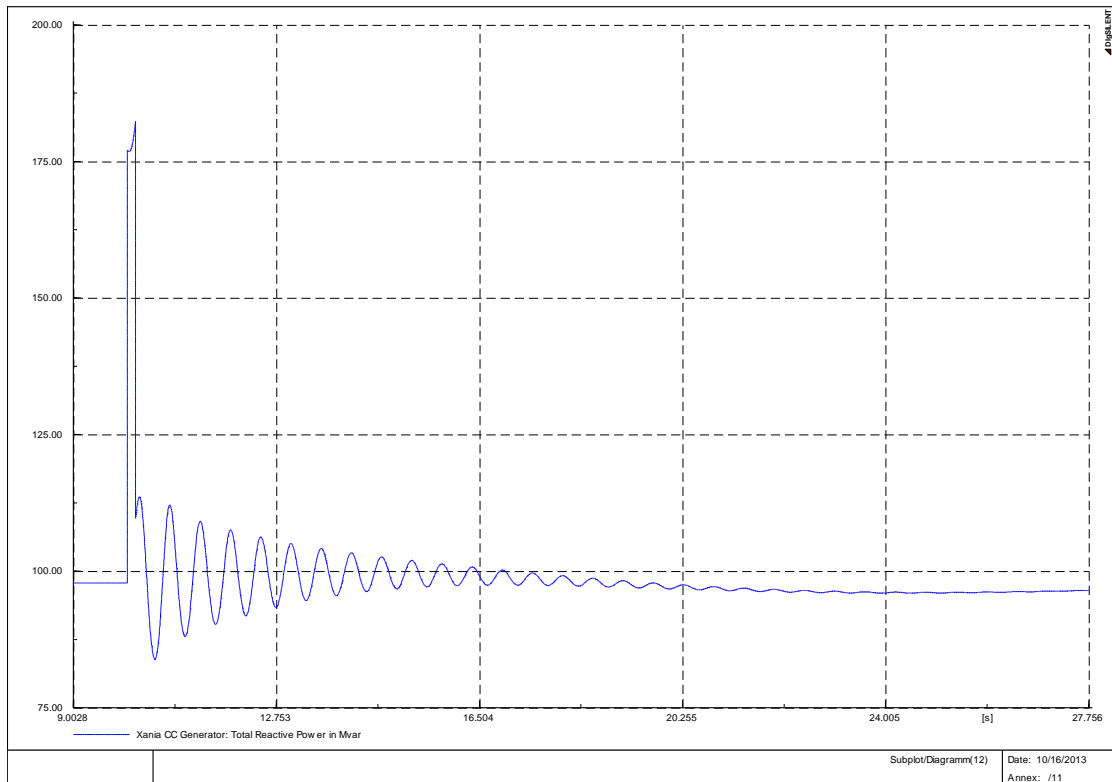


Εικόνα 255: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

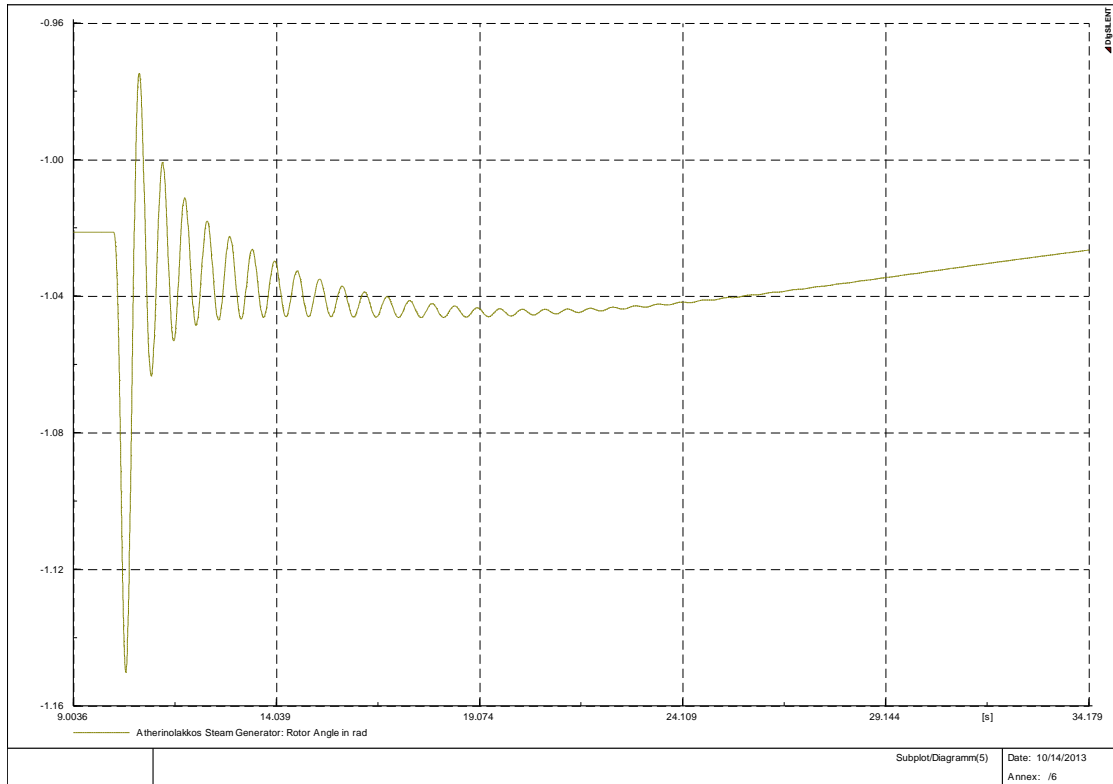


Εικόνα 256: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

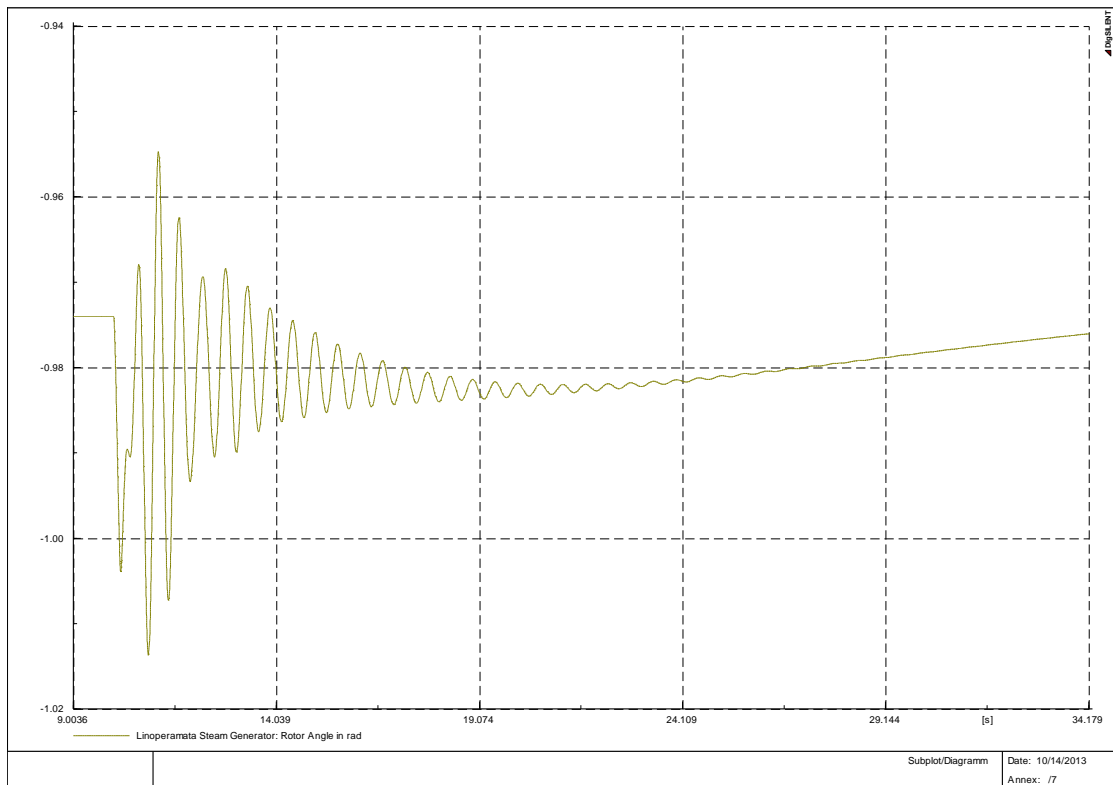


Εικόνα 257: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

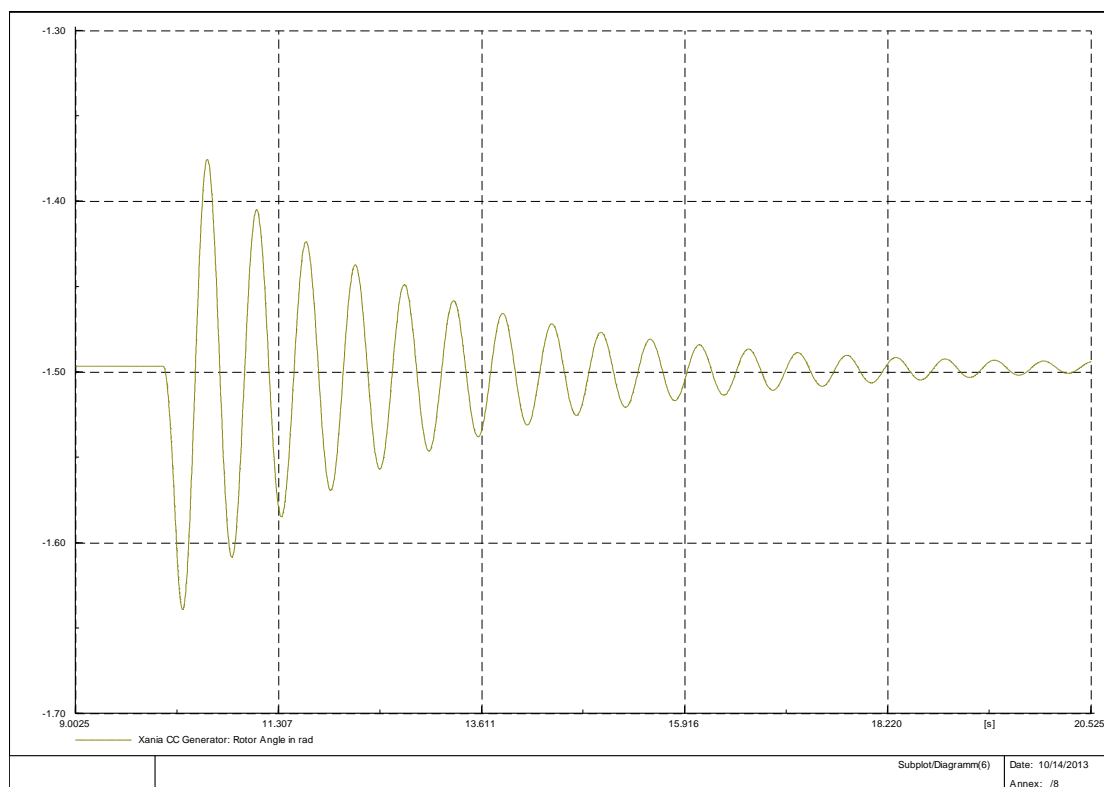
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 258: Γωνία Δρομέα Ατμοστροβίλου Αθερινόλακκου



Εικόνα 259: Γωνία Δρομέα Ατμοστροβίλου Λινοπεραμάτων

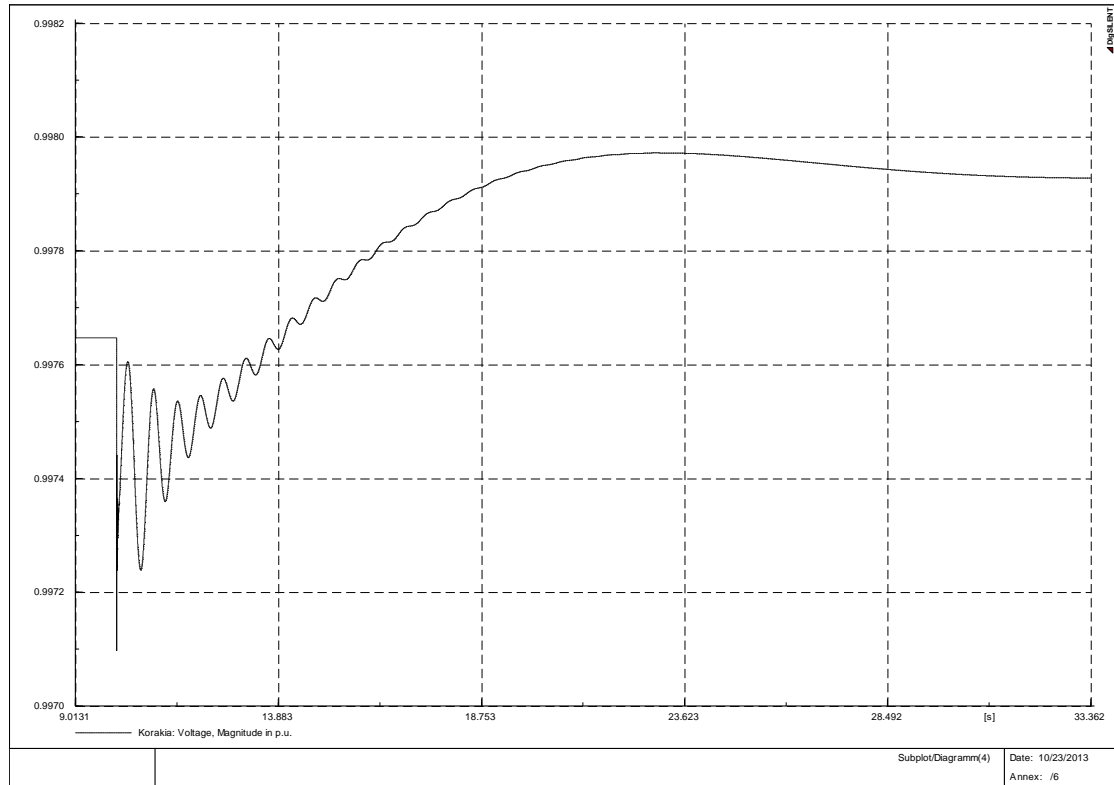


Εικόνα 260: Γωνία Δρομέα Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα λειτουργεί όμοια με την περίπτωση της αρχικής παραγωγής, με τη μόνη διαφορά πως οι τάσεις στους ζυγούς πέφτουν λίγο χαμηλότερα (όσο διαρκεί το βραχυκύκλωμα). Πάλι όμως δεν κρίνεται αυτό ως κάτι ανησυχητικό διότι το σφάλμα διαρκεί μόλις 150 ms. Πρέπει βέβαια να τονιστεί η σημασία της σωστής λειτουργίας των συσκευών προστασίας απέναντι σε βραχυκύκλωμα αλλά και υπερτάσεις/ υπερεντάσεις.

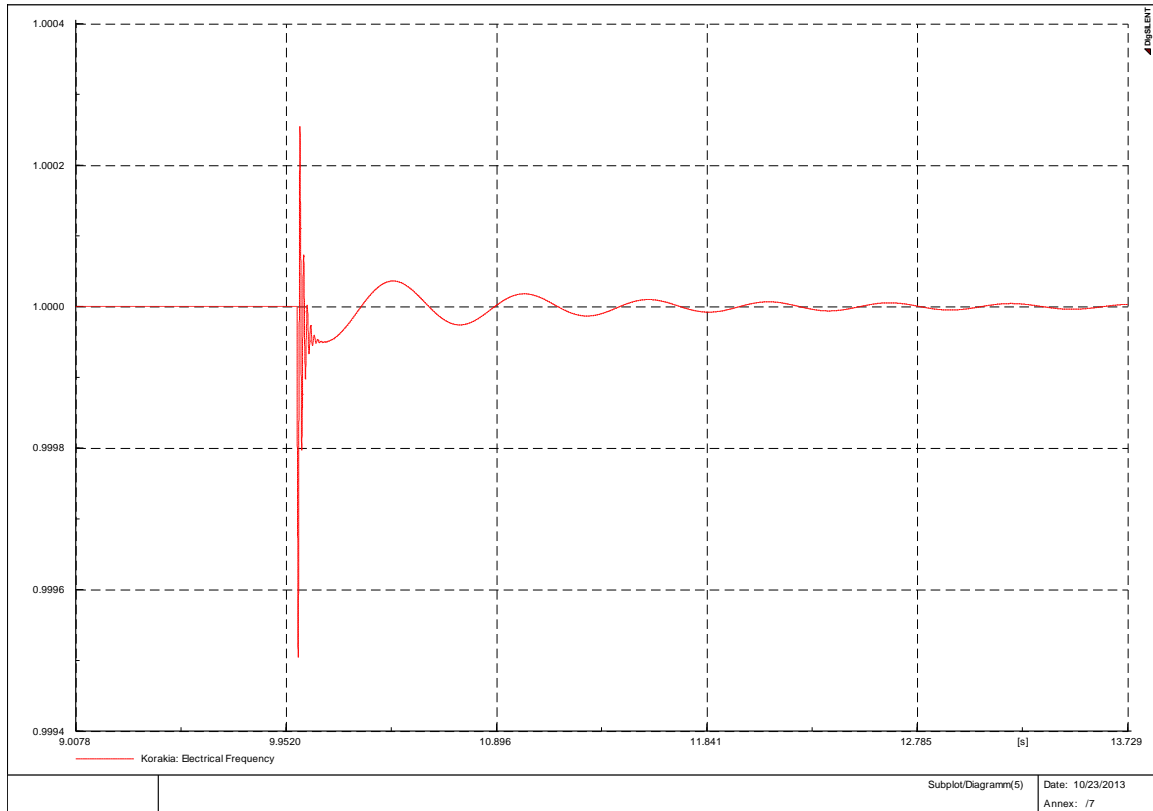
6.3.2 Σενάριο 2

Διαταραχή 1: Απώλεια Μονάδας Ατμοστροβίλων Λινοπεραμάτων

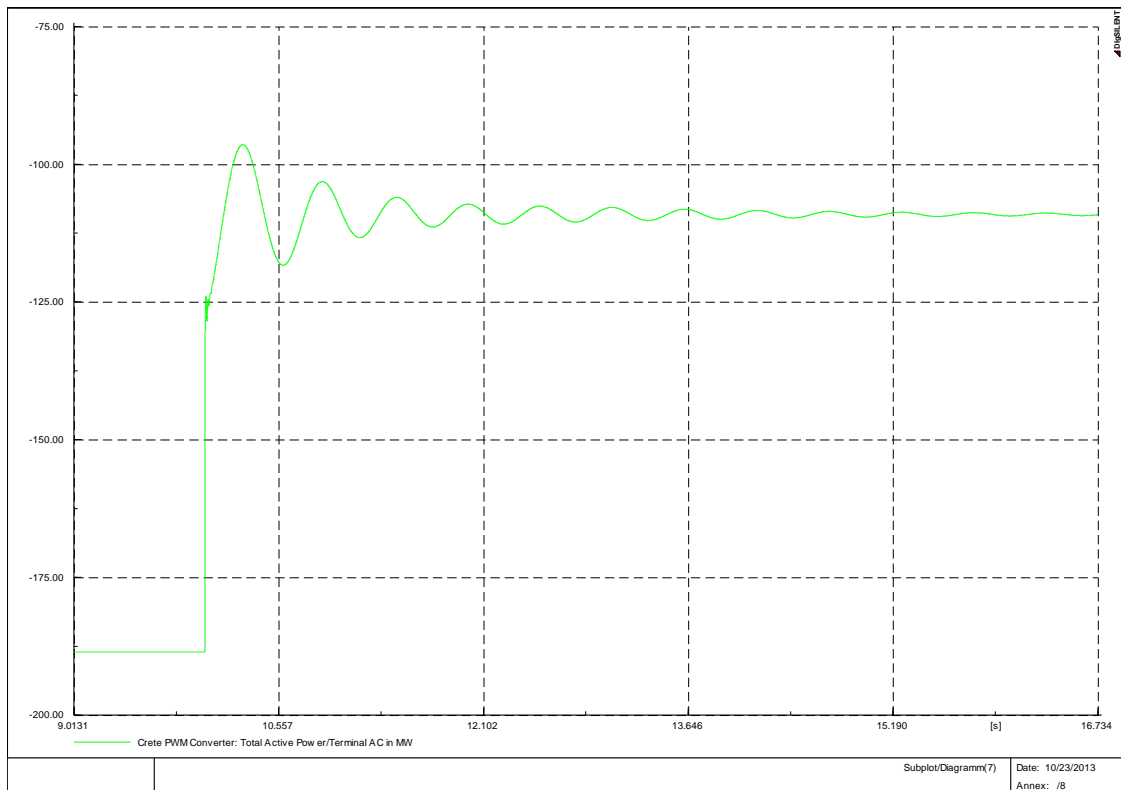


Εικόνα 261: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

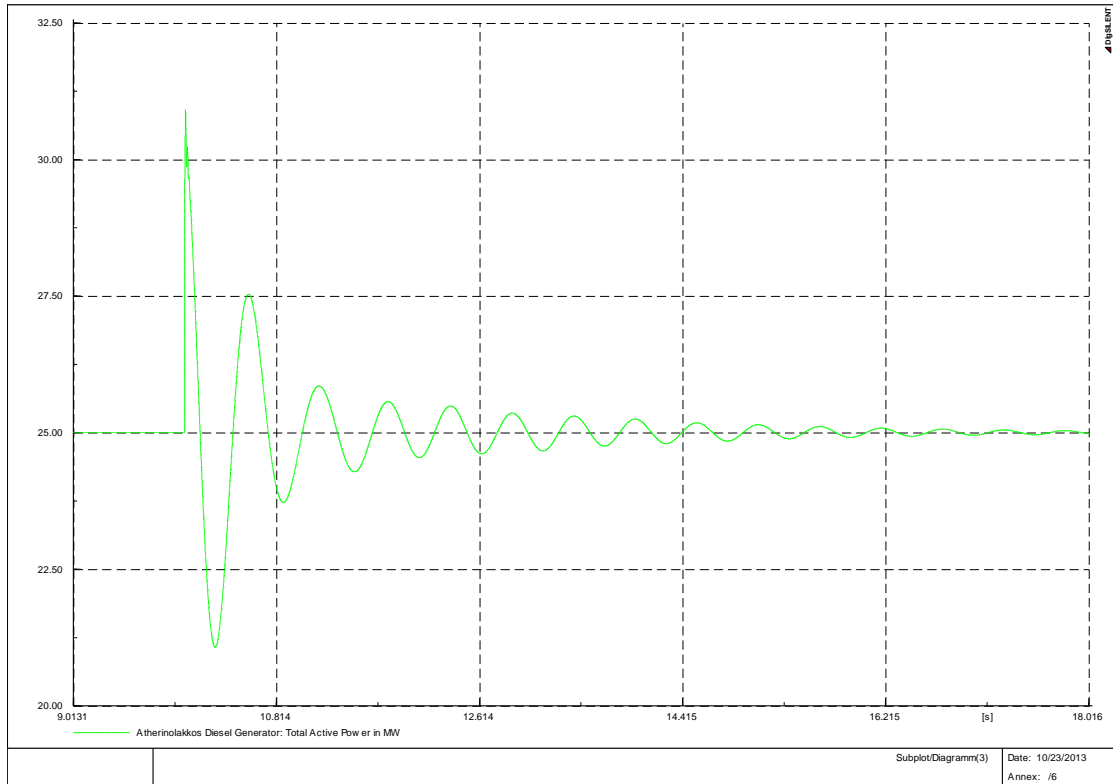


Εικόνα 262: Συχνότητα Συστήματος

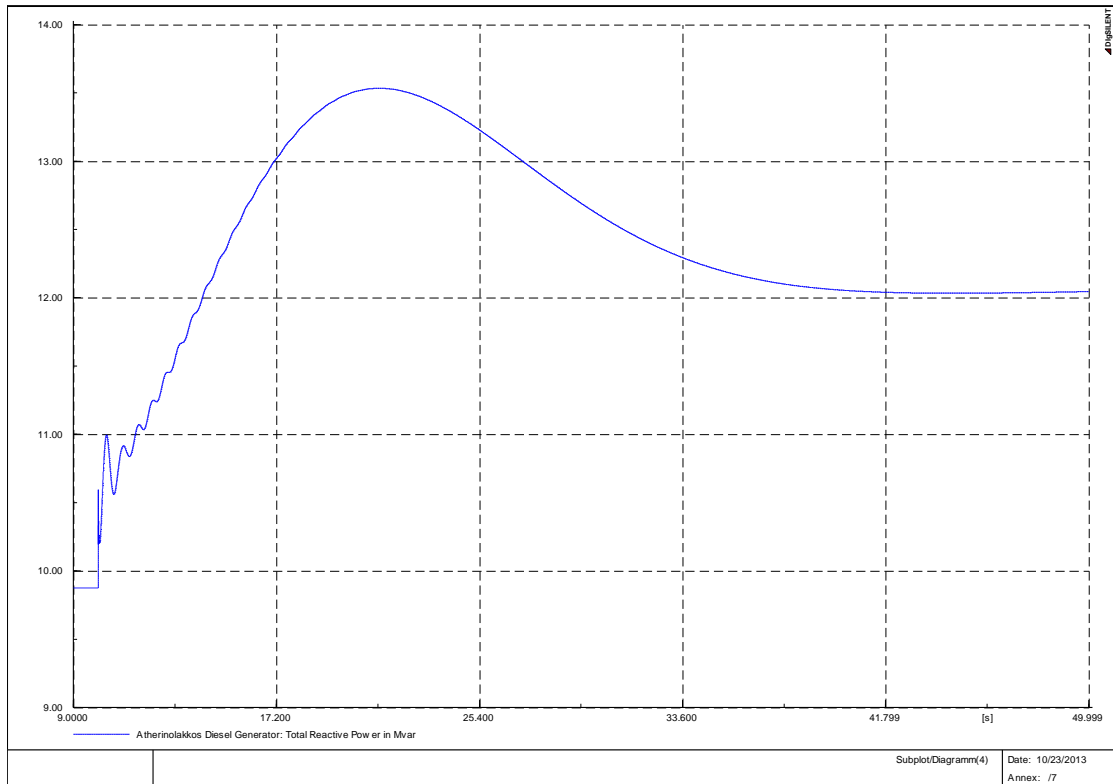


Εικόνα 263: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

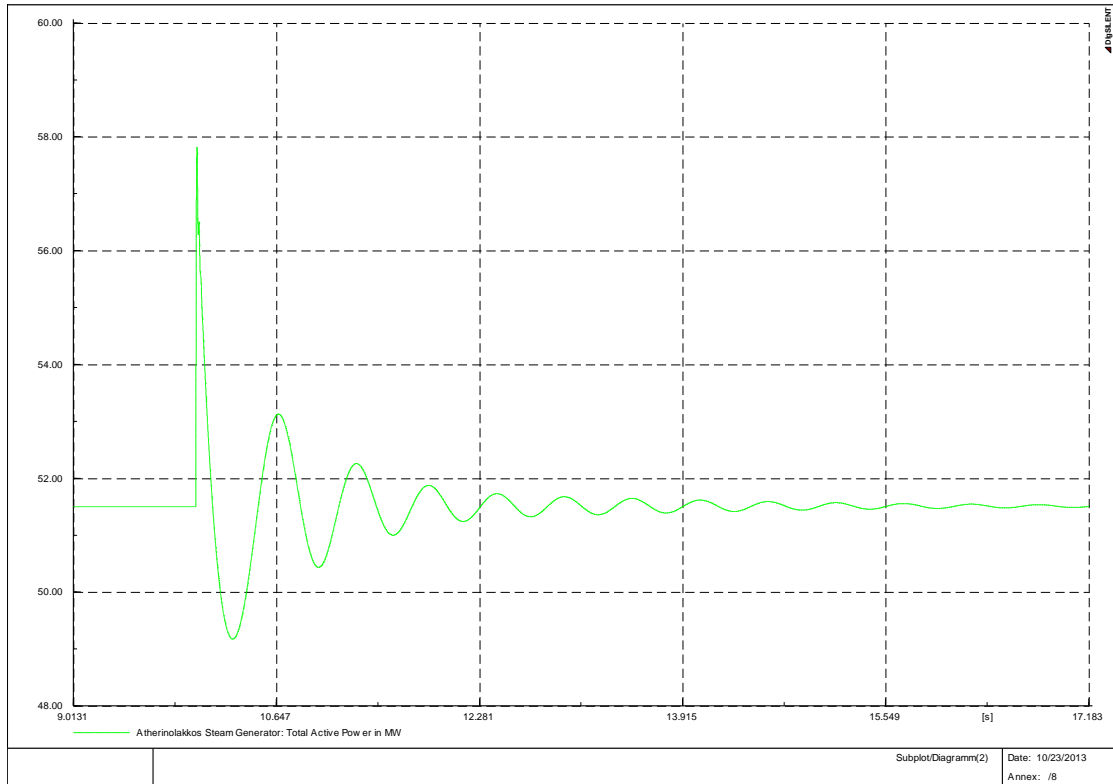


Εικόνα 264: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθρινόλακκου

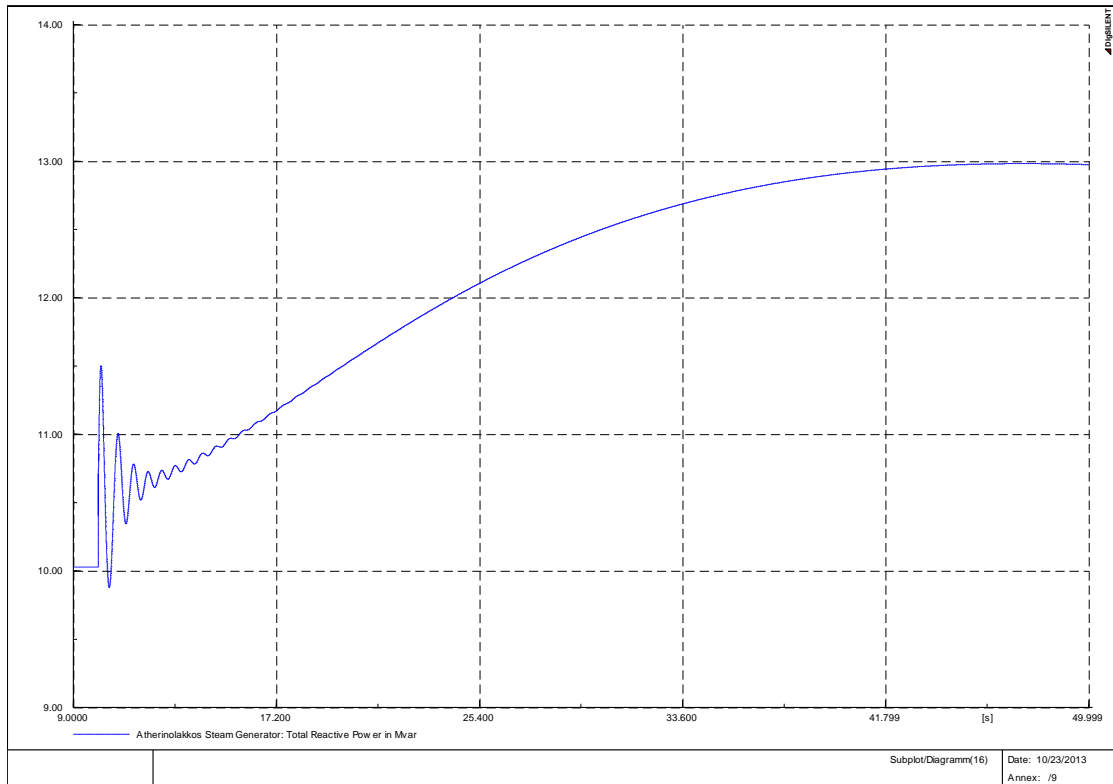


Εικόνα 265: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Αθρινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

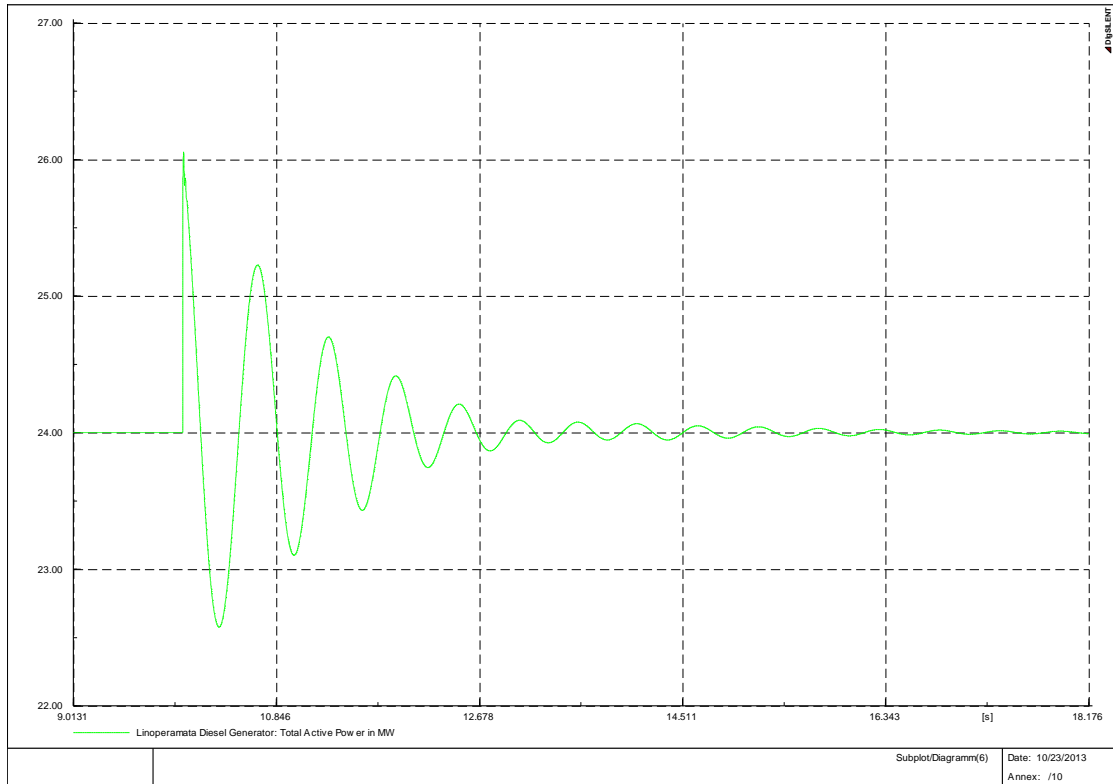


Εικόνα 266: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

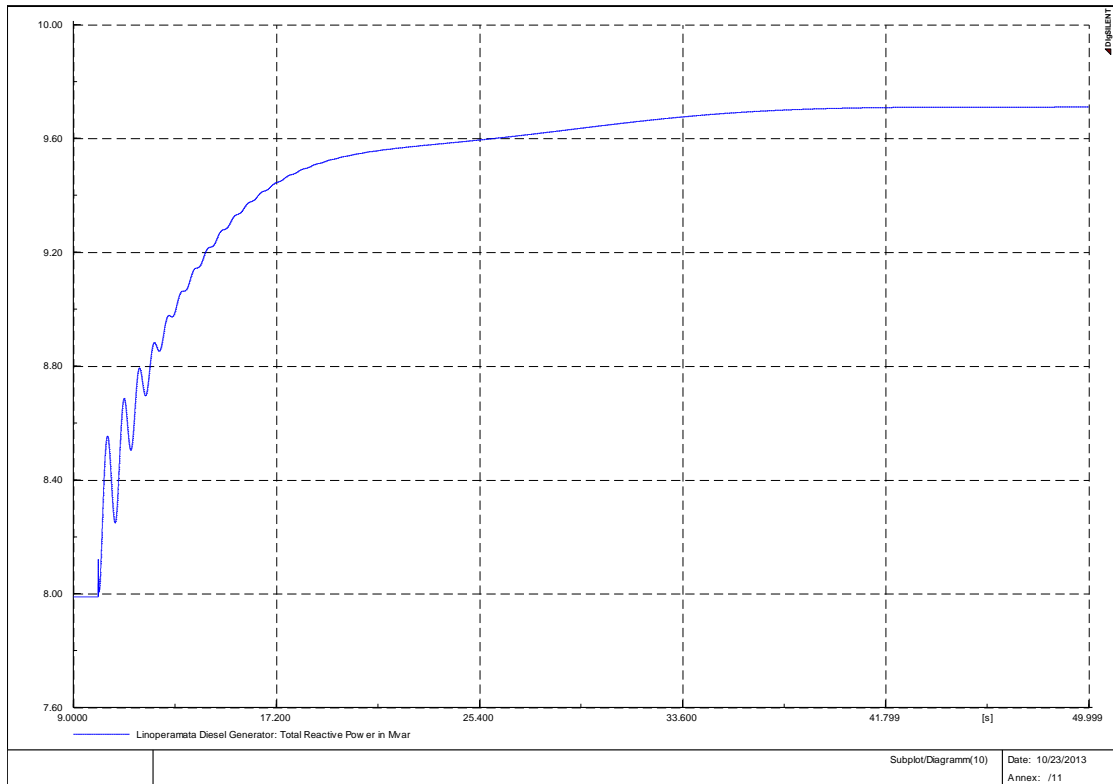


Εικόνα 267: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

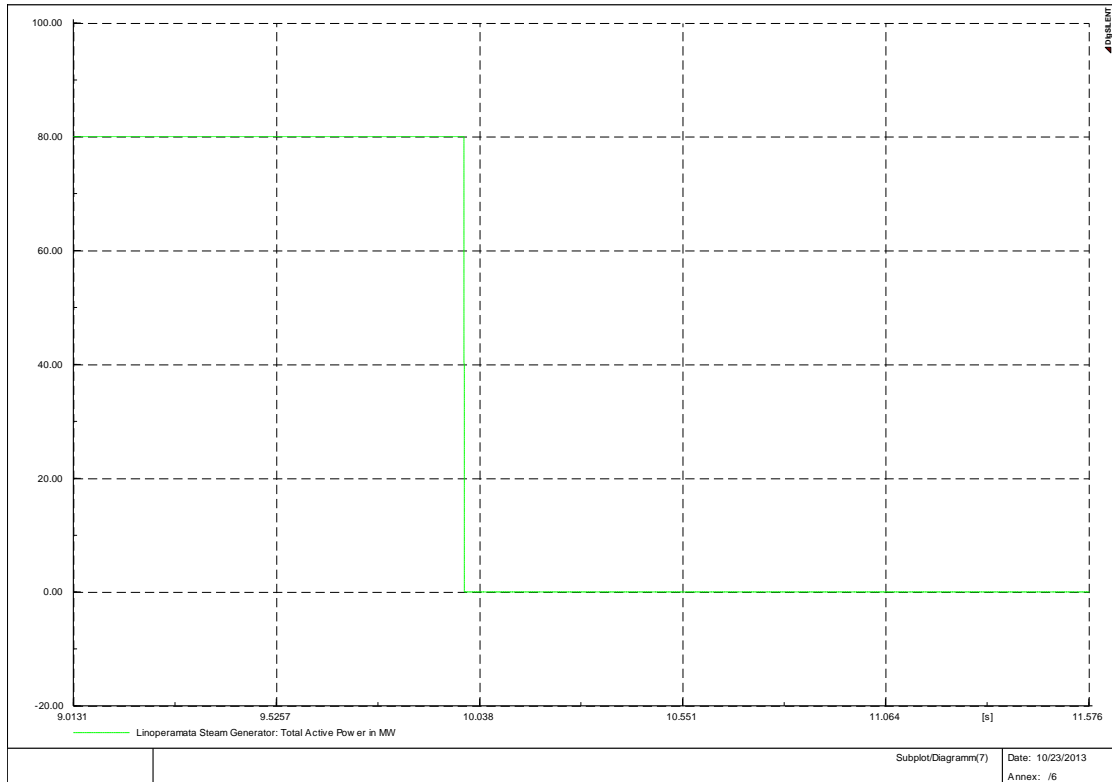


Εικόνα 268: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

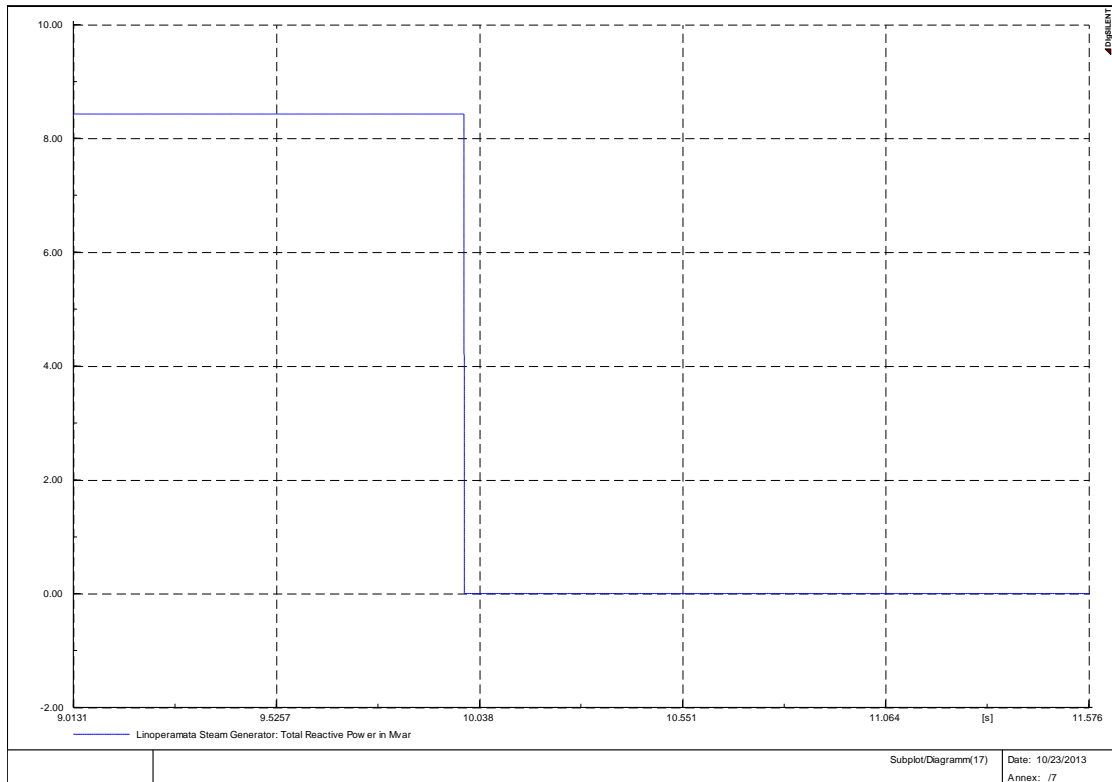


Εικόνα 269: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

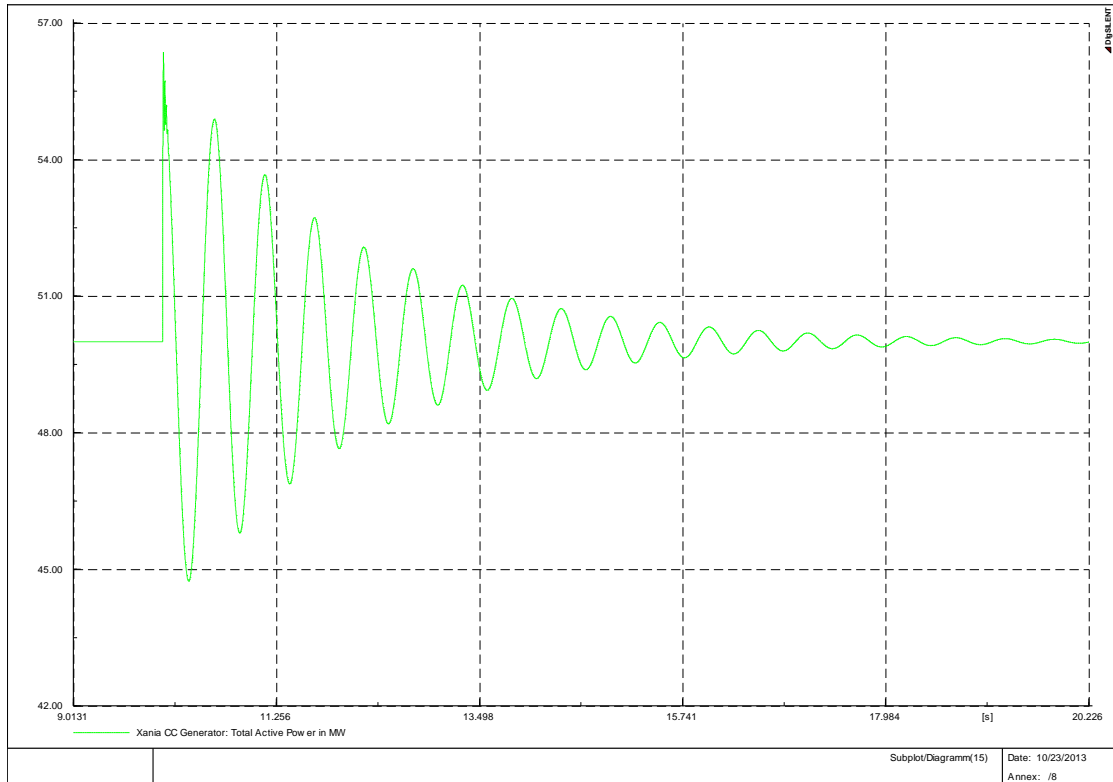


Εικόνα 270: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

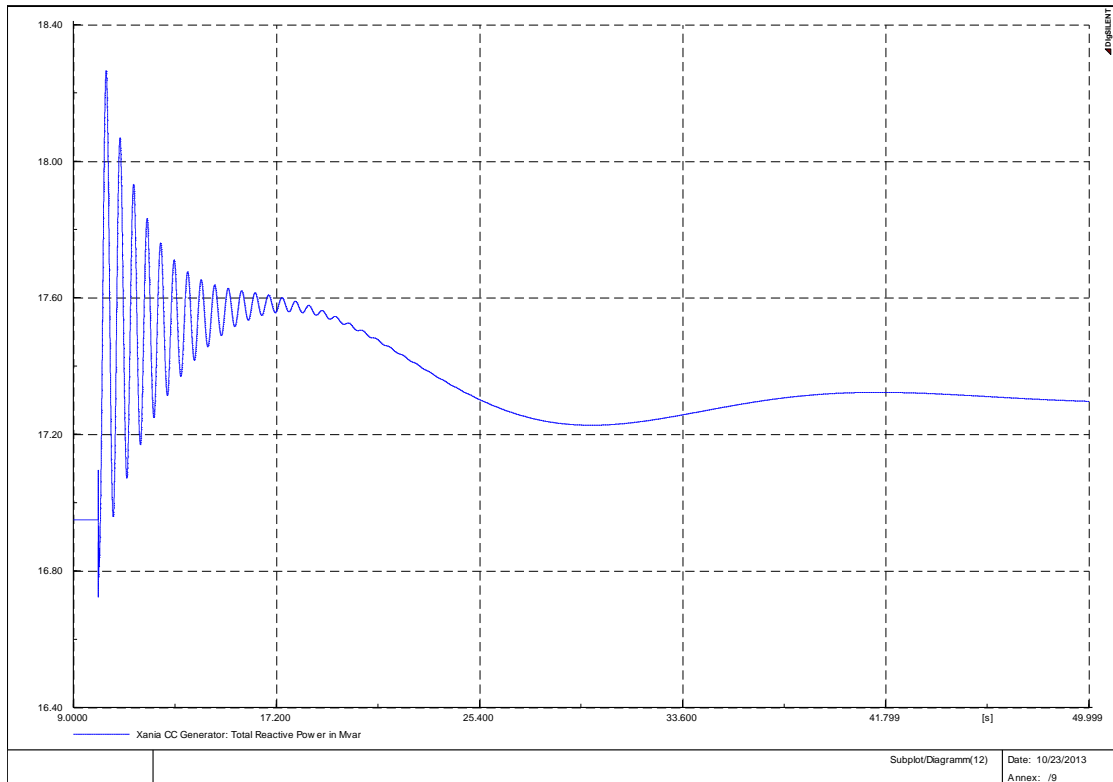


Εικόνα 271: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ



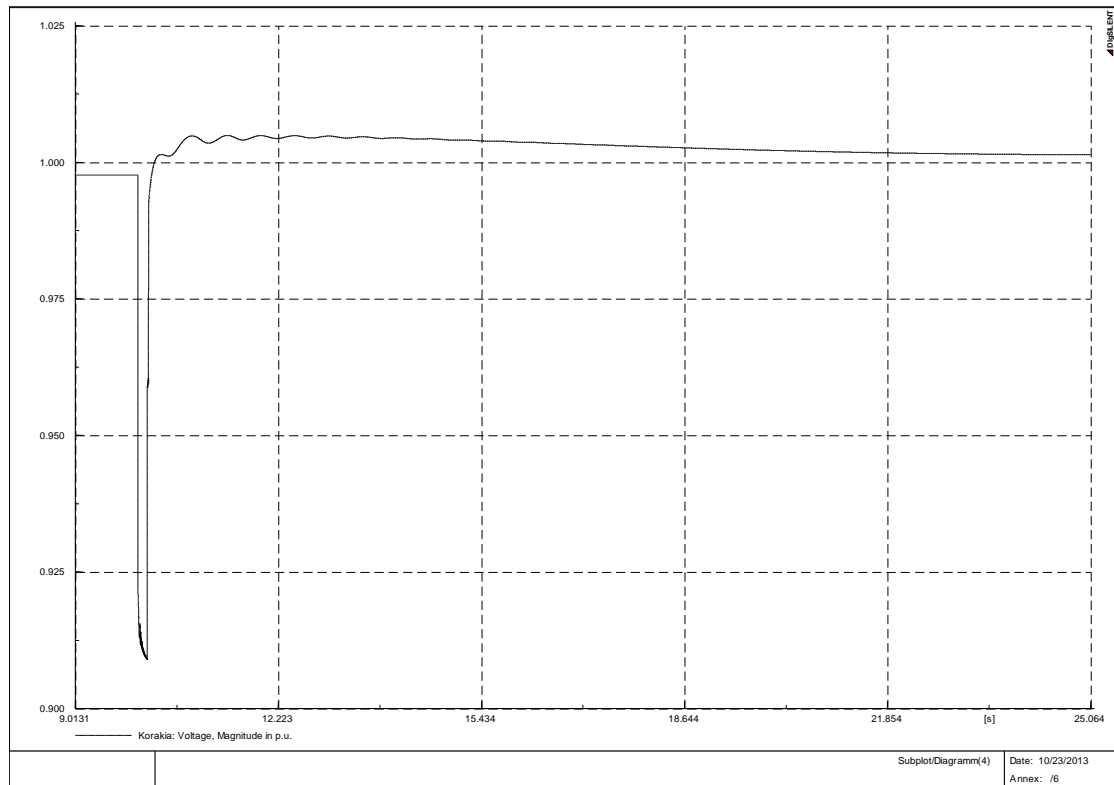
Εικόνα 272: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου



Εικόνα 273: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου

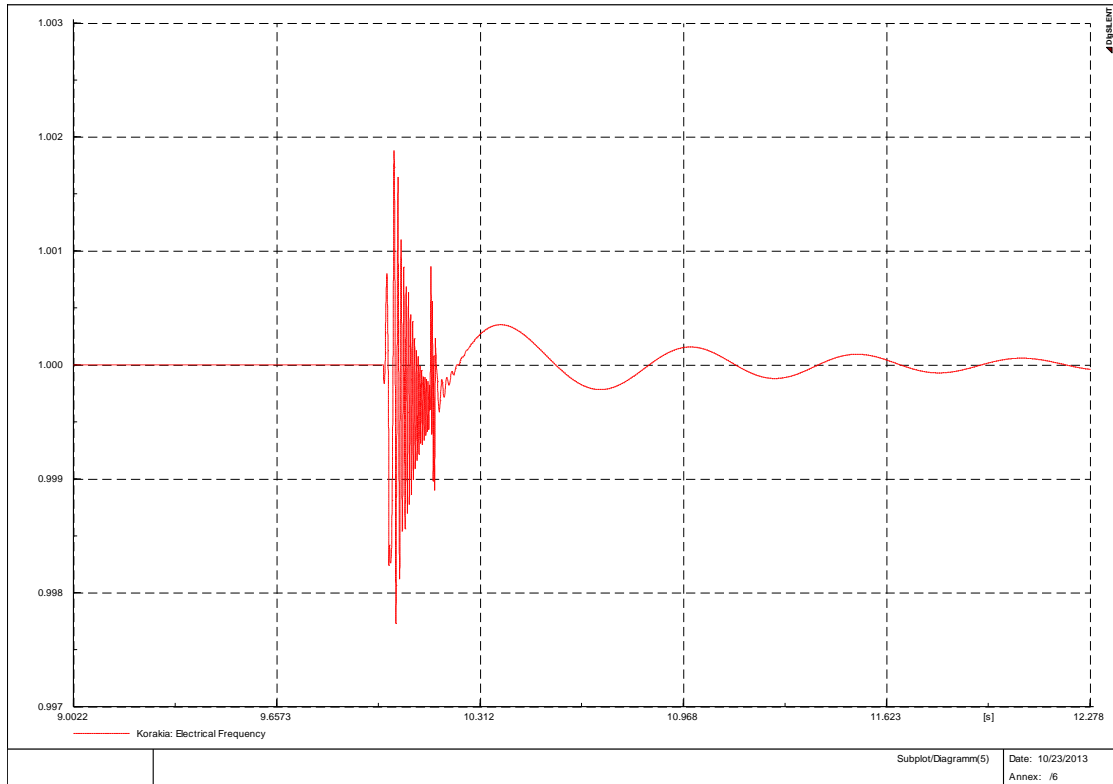
Με μεγαλύτερη παραγωγή από αιολικά, το σύστημα φαίνεται να αντιδρά πανομοιότυπα με την περίπτωση της διασύνδεσης με απλή παραγωγή. Η τάση και η συχνότητα είναι εντός ορίων και καταλήγουμε πως στο συγκεκριμένο σφάλμα το σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί καλά, παρόλο που στηρίζεται περισσότερο στα αιολικά. Μπορεί στην περίπτωση αυτή η διασύνδεση να μη χρειάζεται να καλύψει κάποια χαμένη παραγωγή, λειτουργεί όμως ως slack bus και συγκρατεί τη συχνότητα σε πολύ καλύτερα επίπεδα από το αντίστοιχο σφάλμα χωρίς διασύνδεση.

Διαταραχή 2 : Βραχυκύκλωμα στη Σητεία

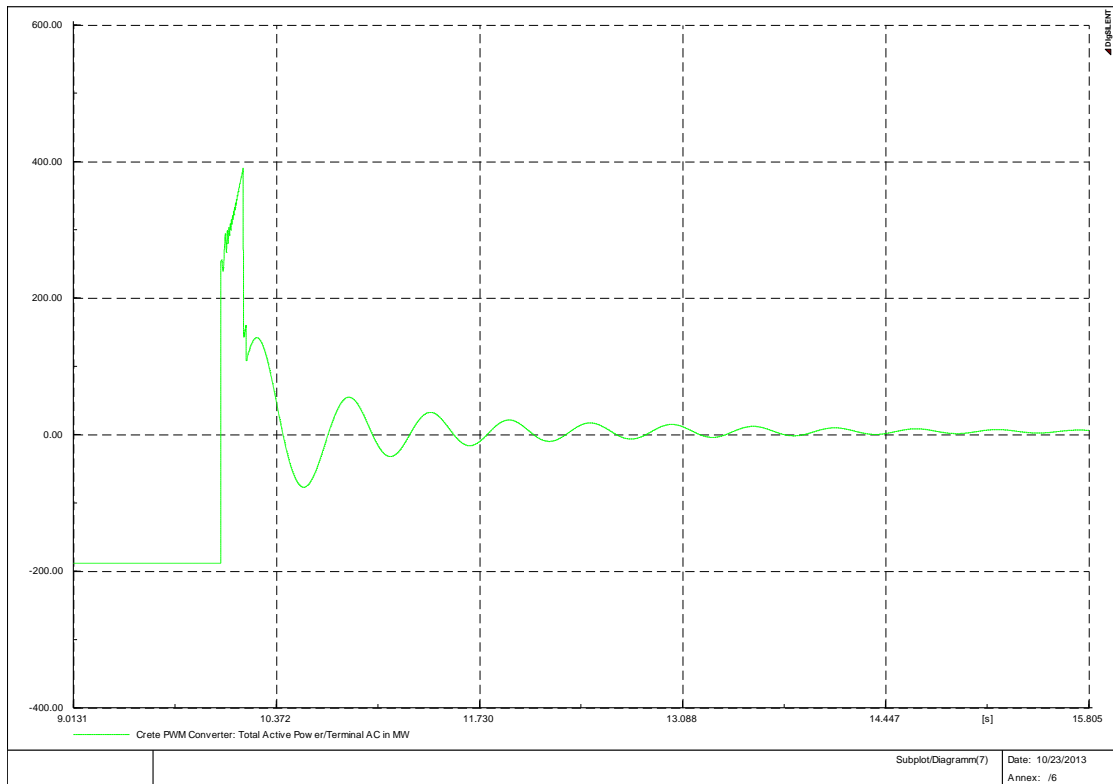


Εικόνα 274: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

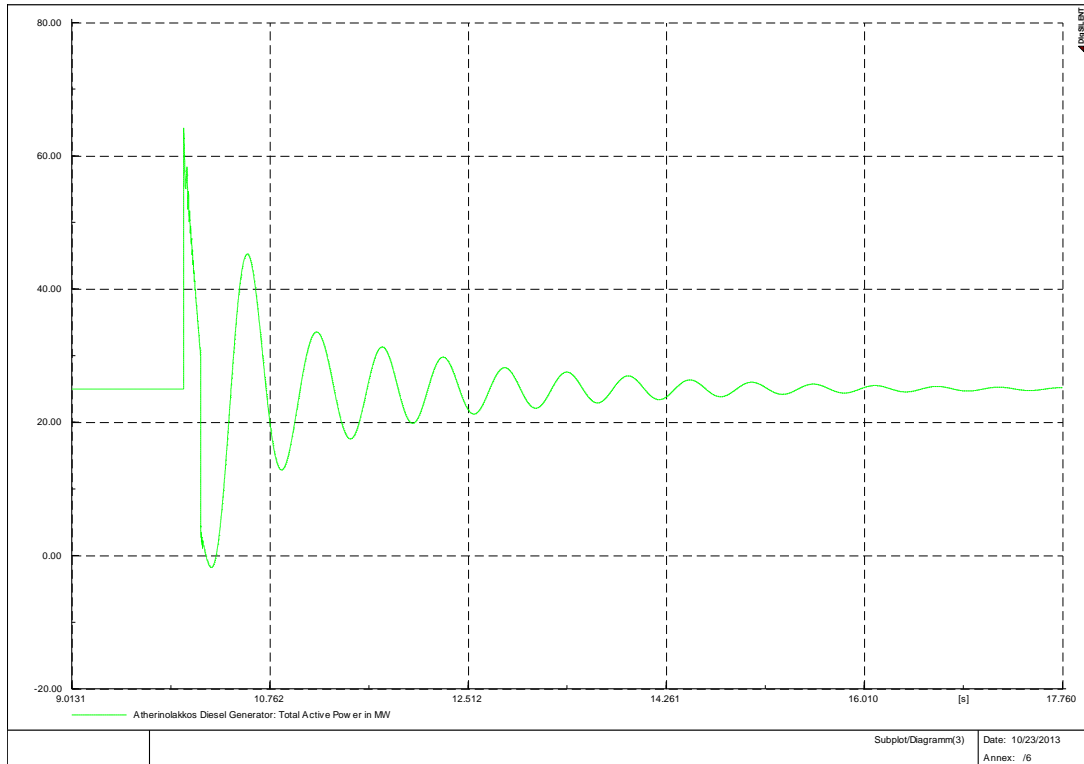


Εικόνα 275: Συχνότητα Συστήματος

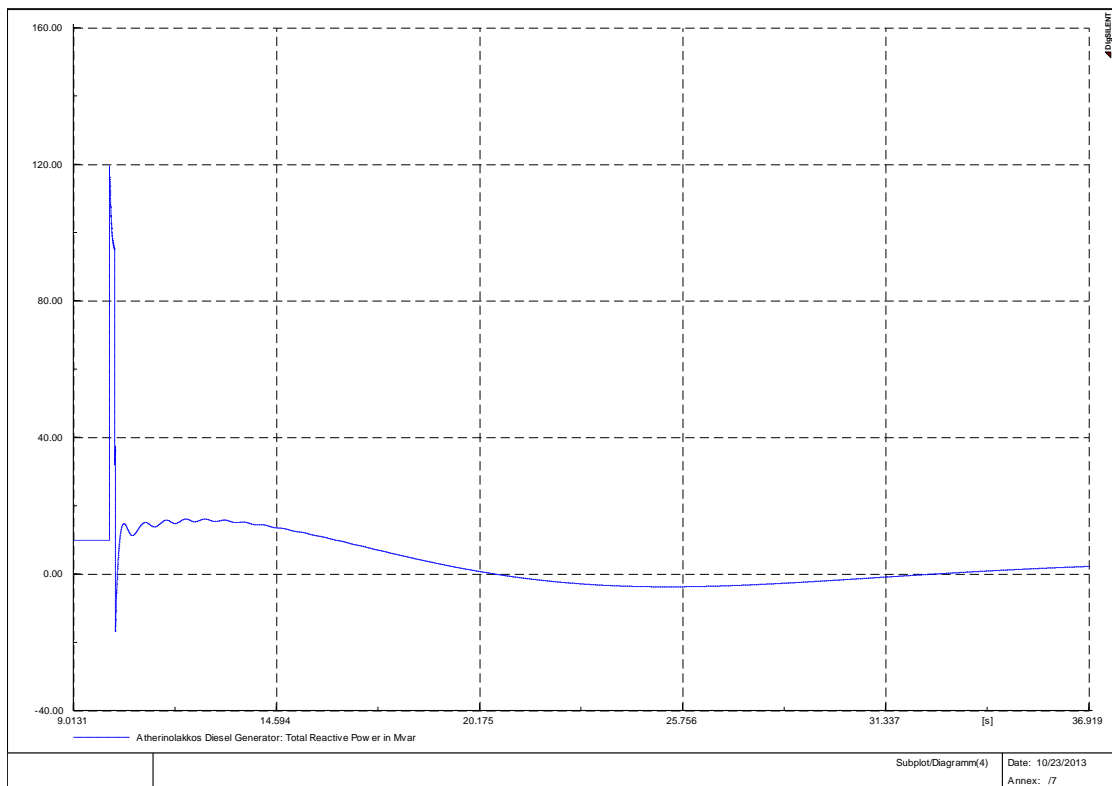


Εικόνα 276: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

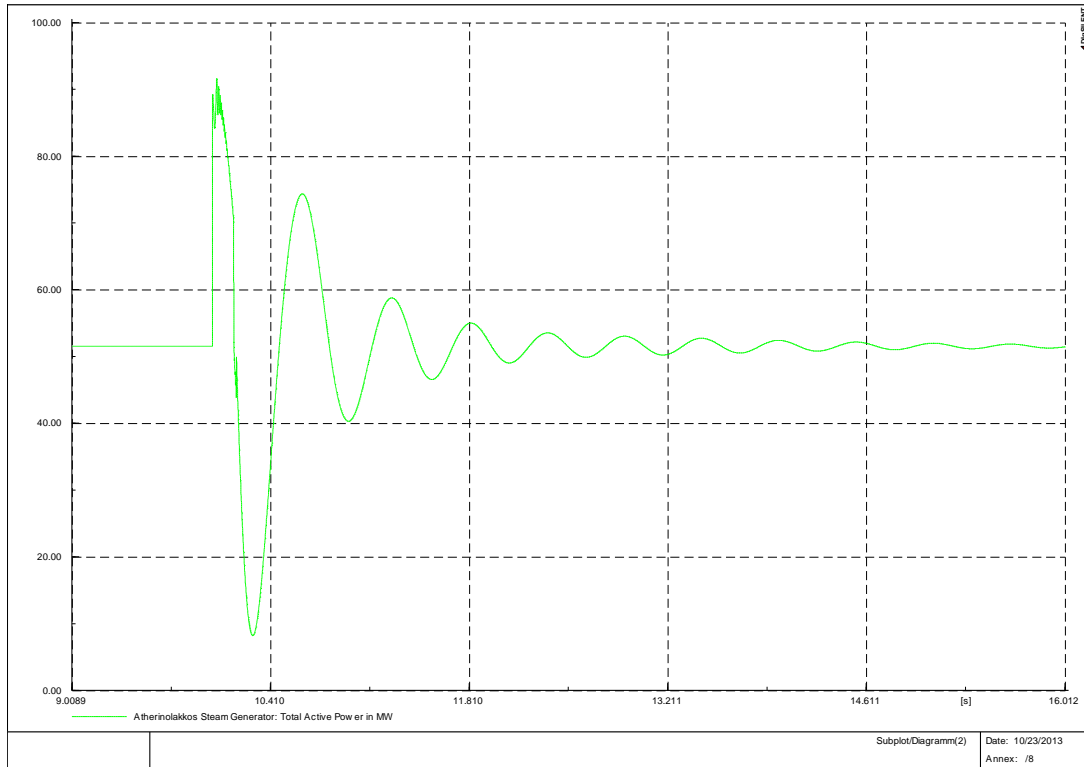


Εικόνα 277: Ενεργός Ισχύς Diesel Αθρινόλακκου

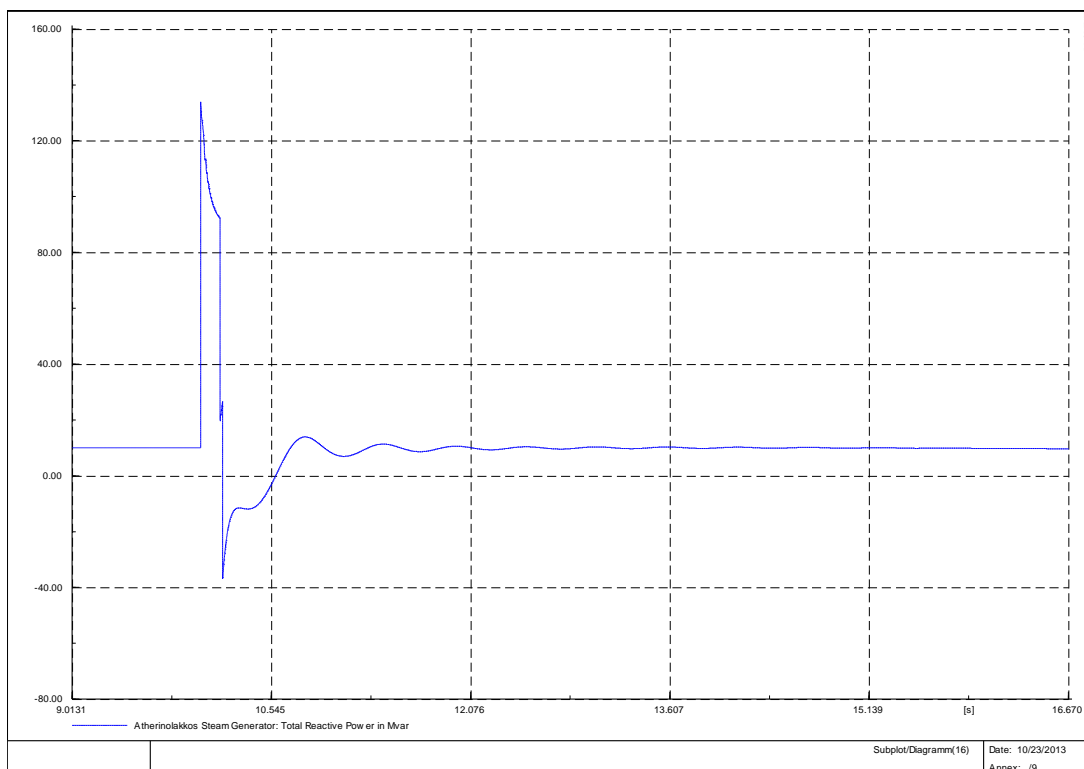


Εικόνα 278: Άεργος Ισχύς Diesel Αθρινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

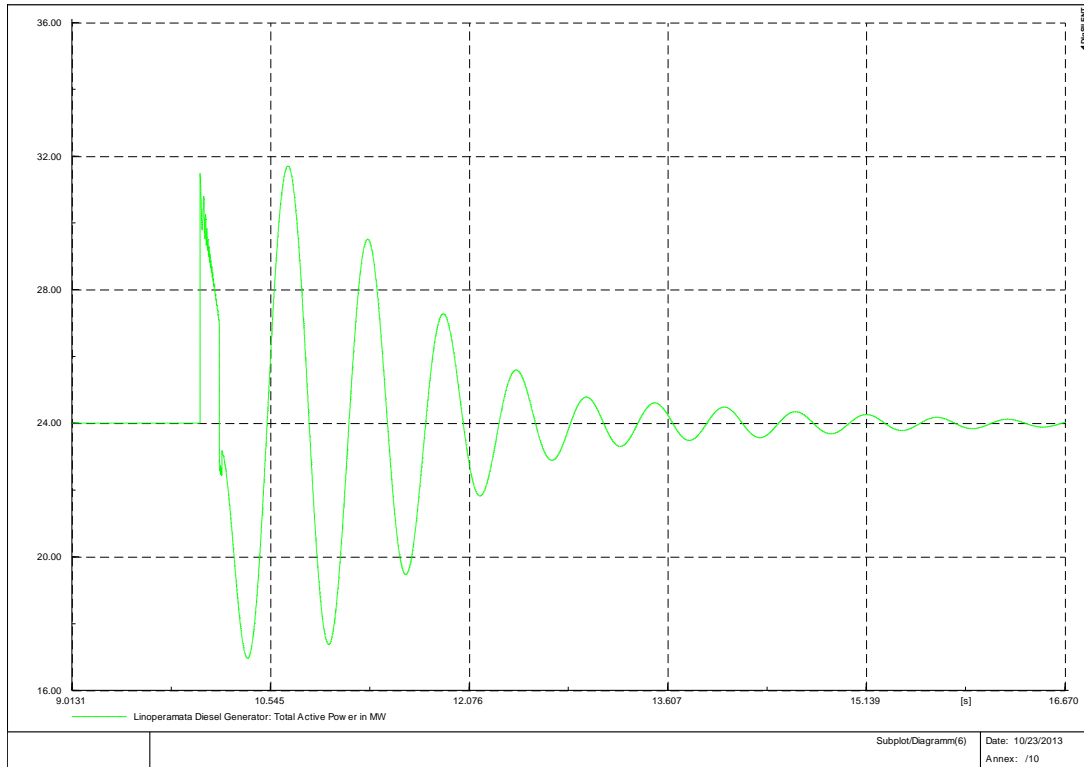


Εικόνα 279: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

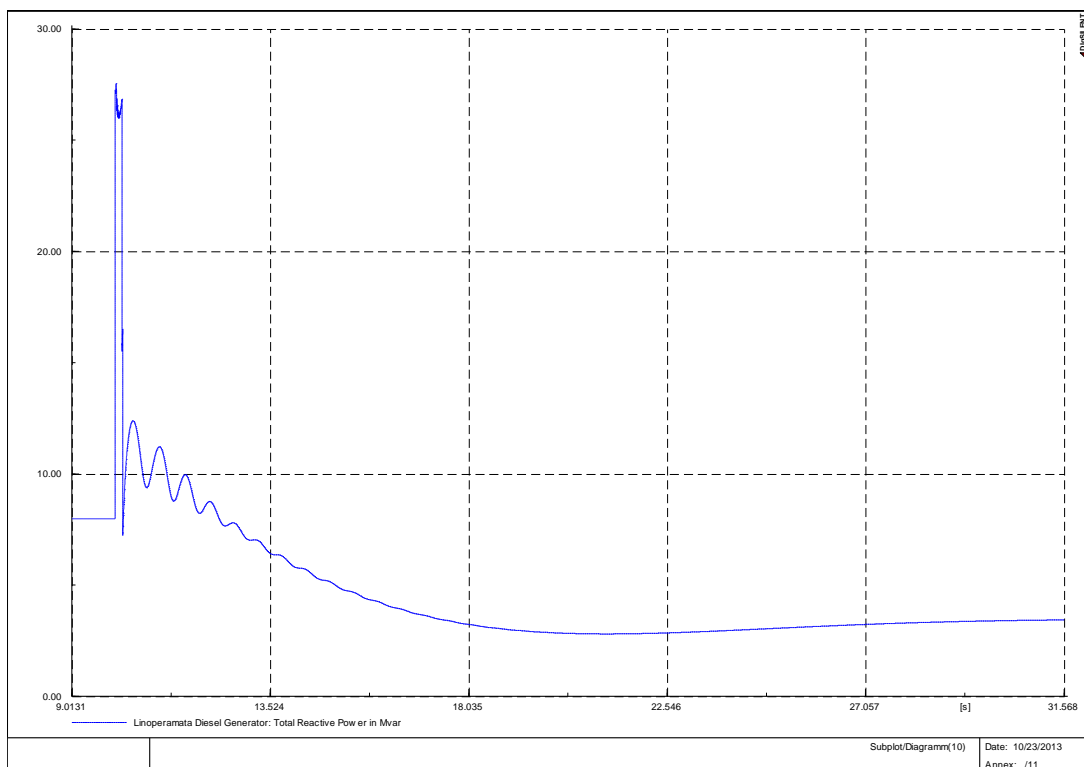


Εικόνα 280: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

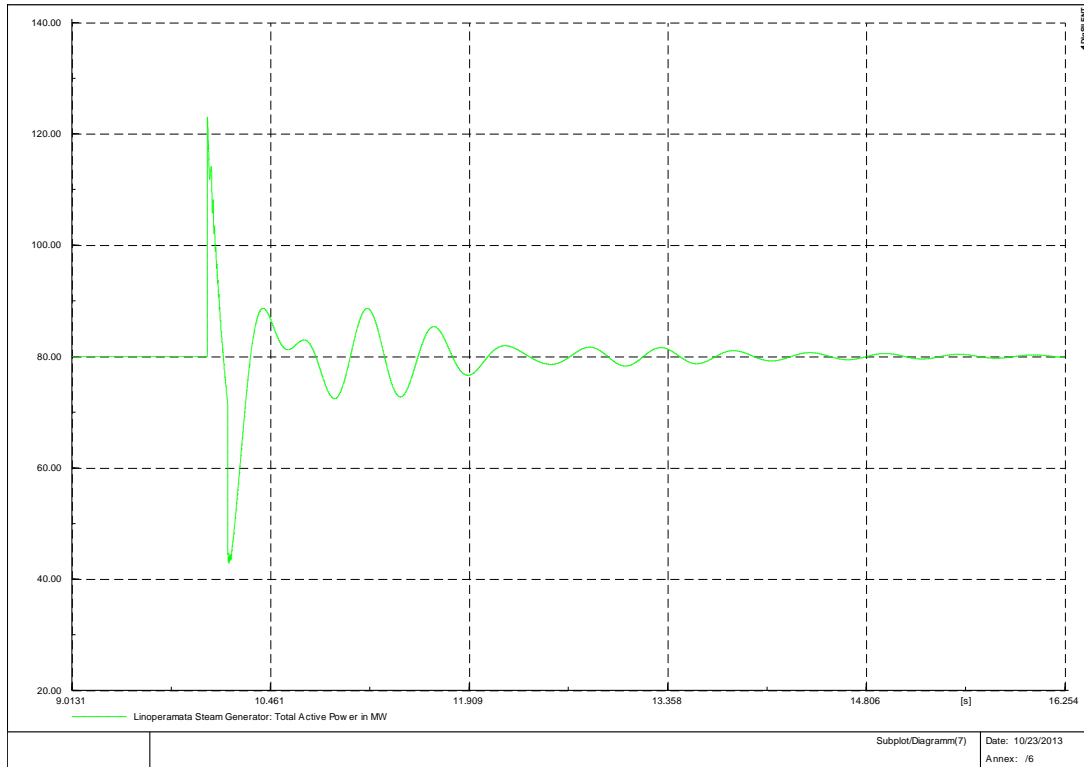


Εικόνα 281: Ενεργός Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

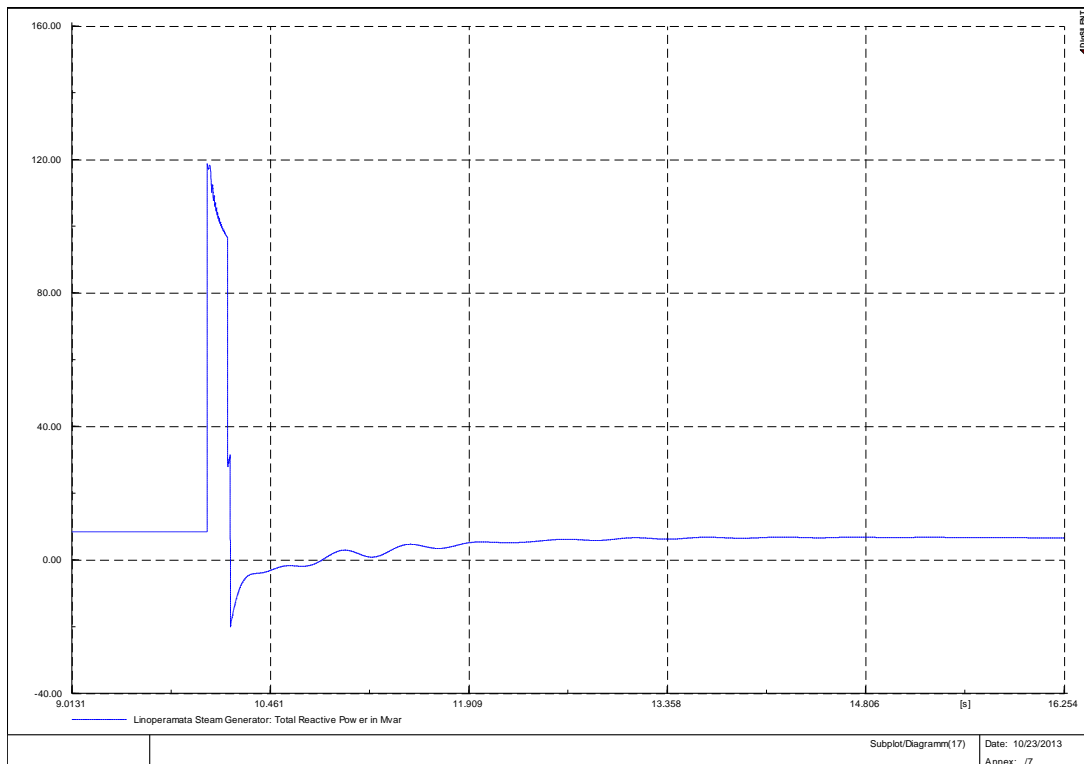


Εικόνα 282: Άεργος Ισχύς Ντηζελογεννητριών Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

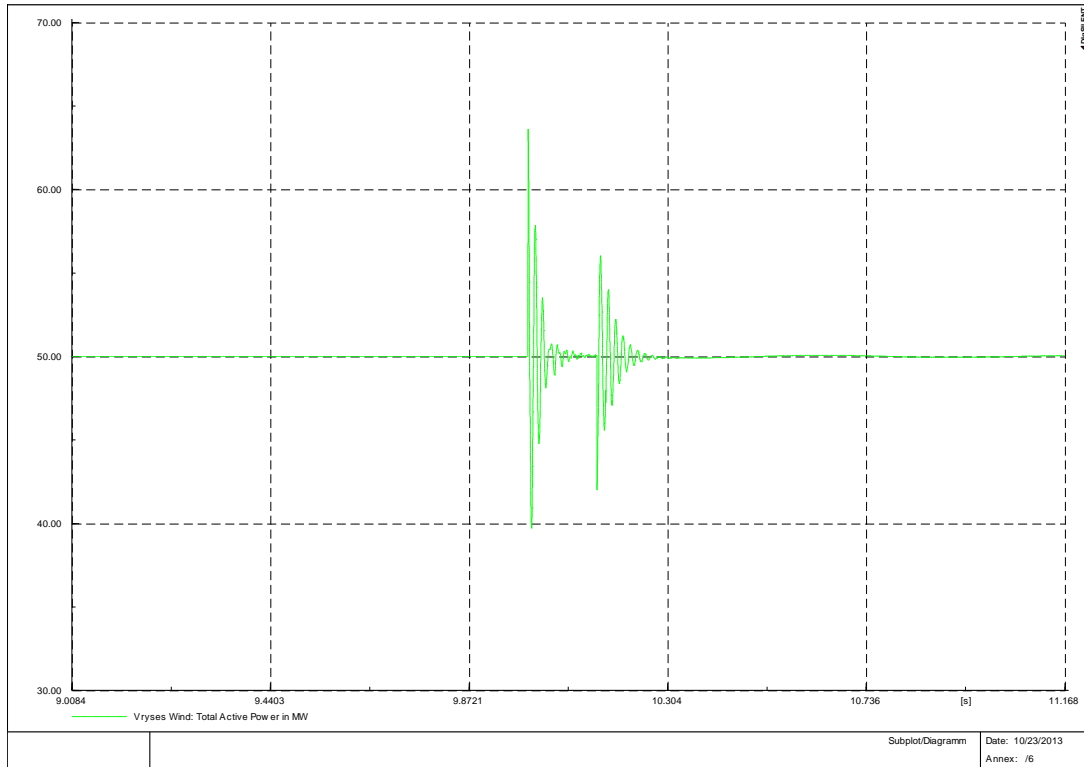


Εικόνα 283: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

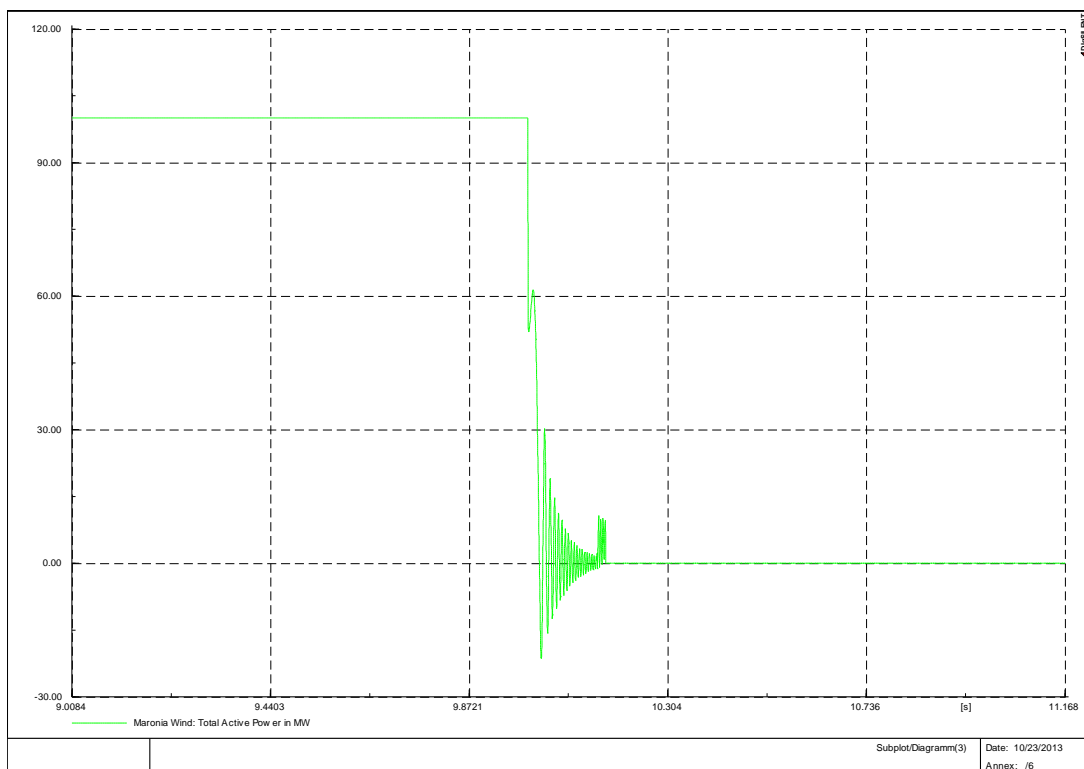


Εικόνα 284: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

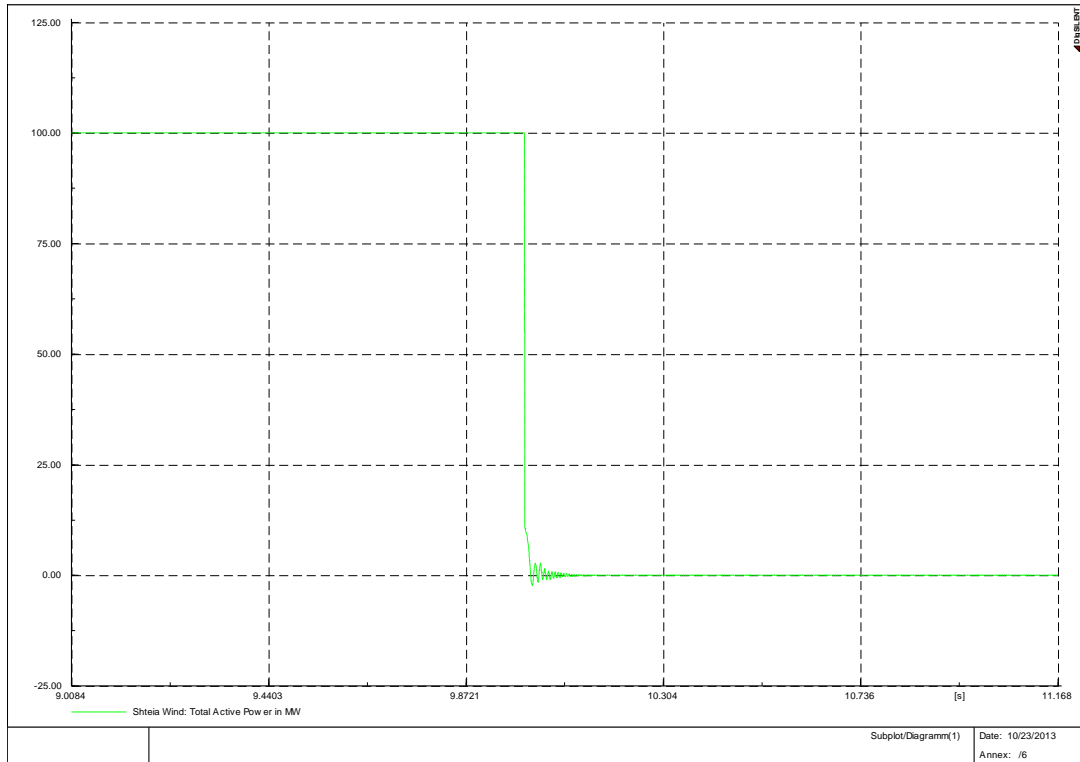


Εικόνα 285: Ενεργός Ισχύς Αιολικών Βρύσες

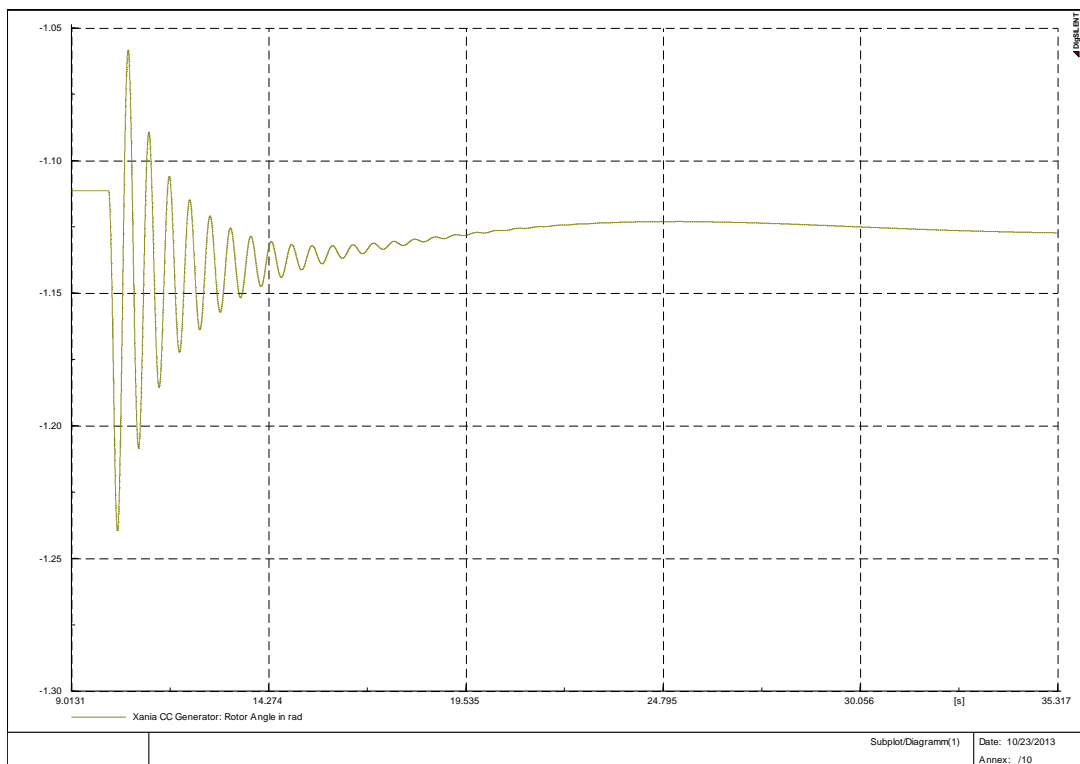


Εικόνα 286: Ενεργός Ισχύς Αιολικών Μαρωνιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

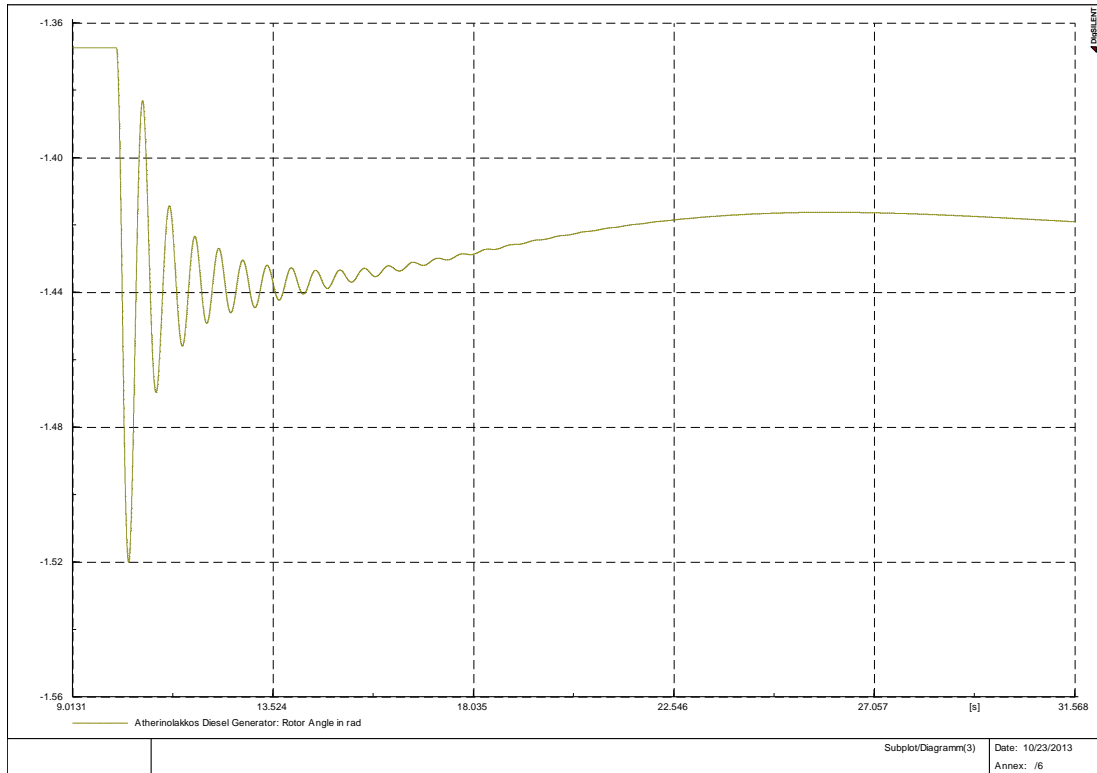


Εικόνα 287: Ενεργός Ισχύς Αιολικών Σητείας

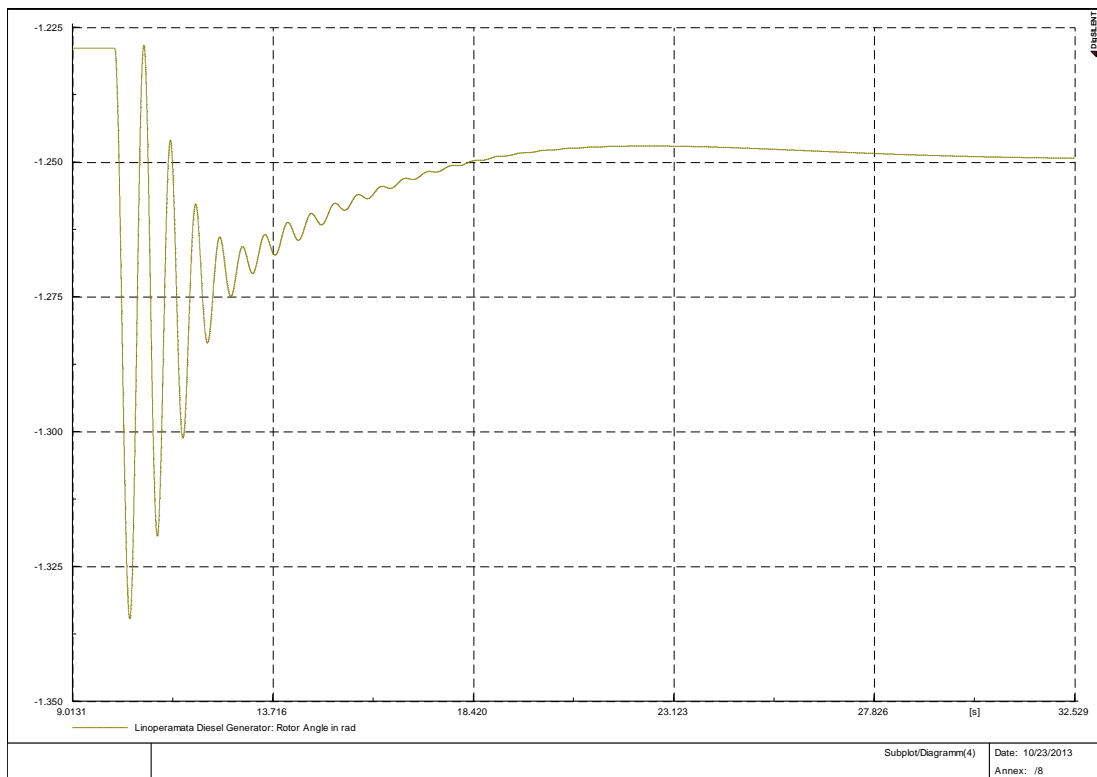


Εικόνα 288: Γωνία Δρομέα Συνδρασμένου Κύκλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

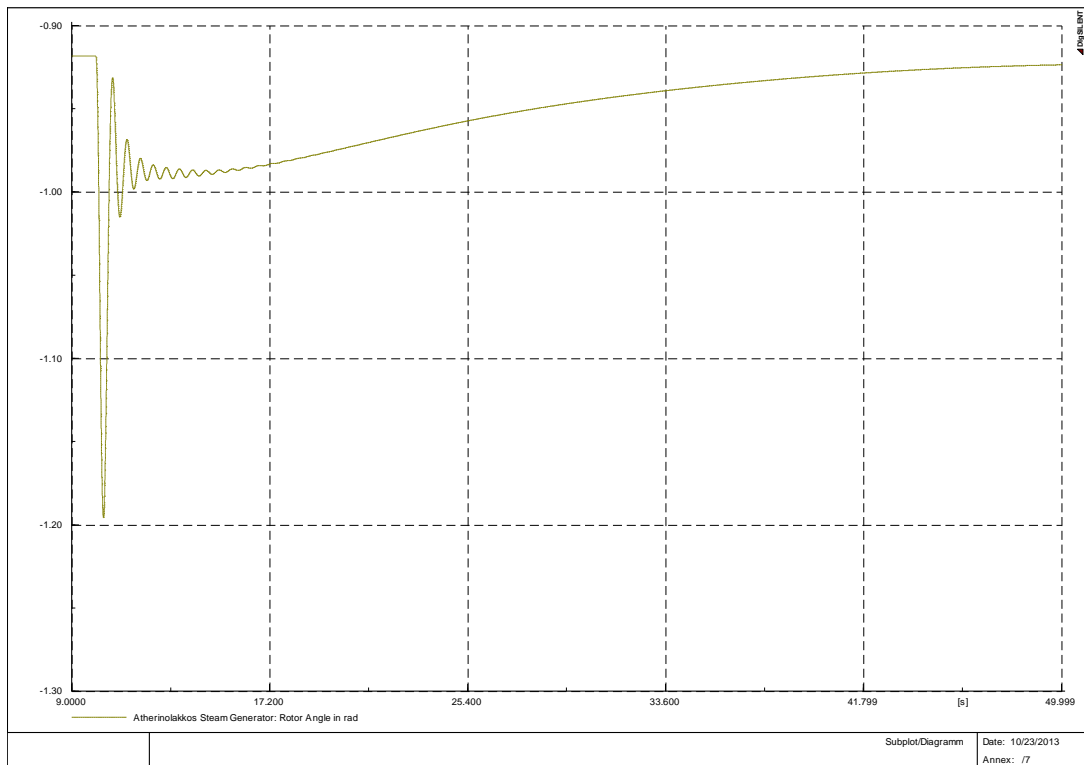


Εικόνα 289: Γωνία Δρομέα Diesel Αθρινόλακκου

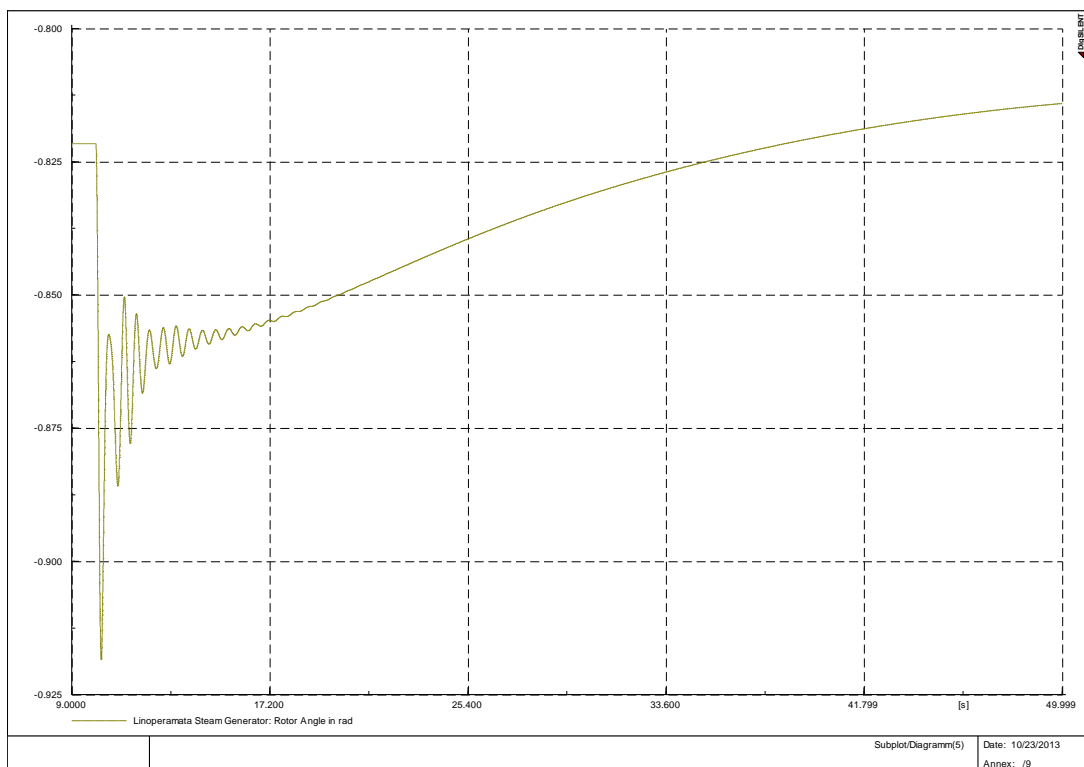


Εικόνα 290: Γωνία Δρομέα Diesel Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 291: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλου Αθερινόλακκου

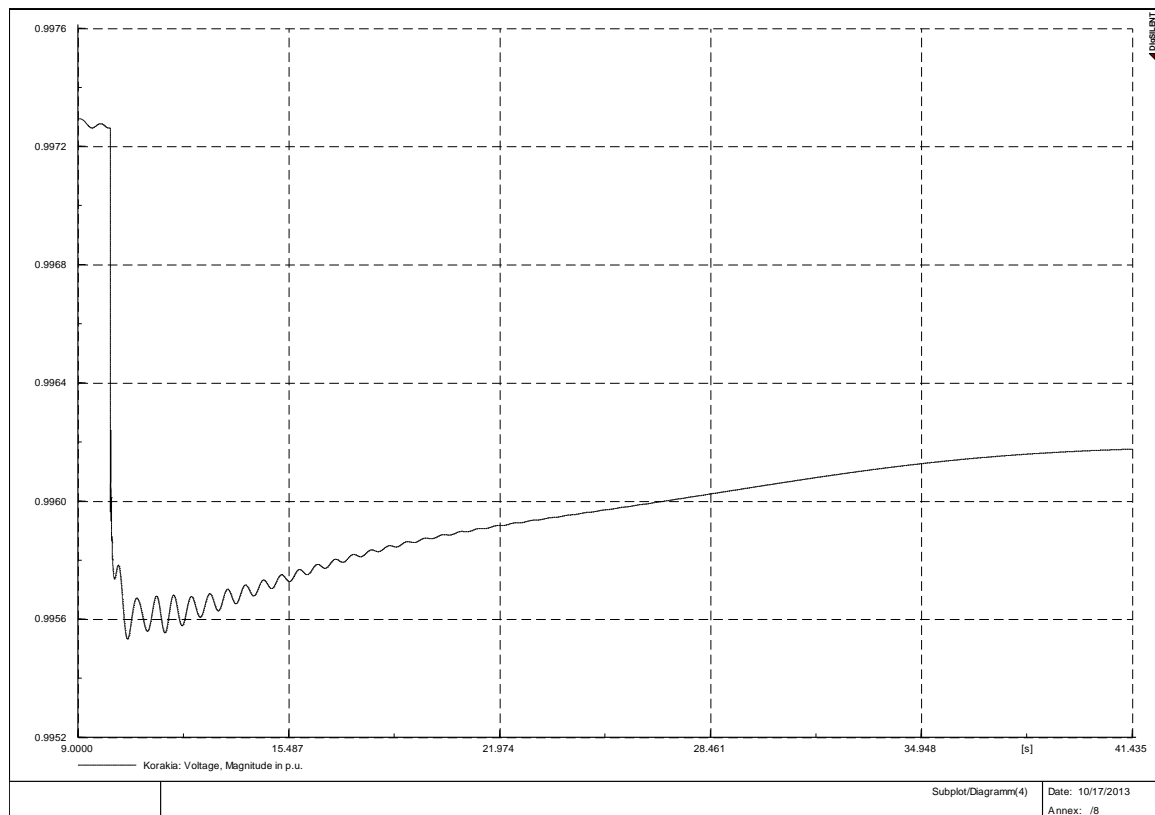


Εικόνα 292: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλου Λινοπεραμάτων

Στο βραχυκύκλωμα παρατηρούμε εξίσου καλή συμπεριφορά με την παράγραφο 6.2.2, αν όχι καλύτερη, αφού η συχνότητα φτάνει μόλις μέχρι το 0.998. Όπως και προηγουμένως, η διασύνδεση καλύπτει πλήρως και τις δύο αιολικές εγκαταστάσεις που αποσυνδέονται λόγω του βραχυκυκλώματος. Επομένως και στην περίπτωση αυτού του σφάλματος το σενάριο 2 μπορεί να λειτουργήσει με αυξημένη αιολική διείδυση.

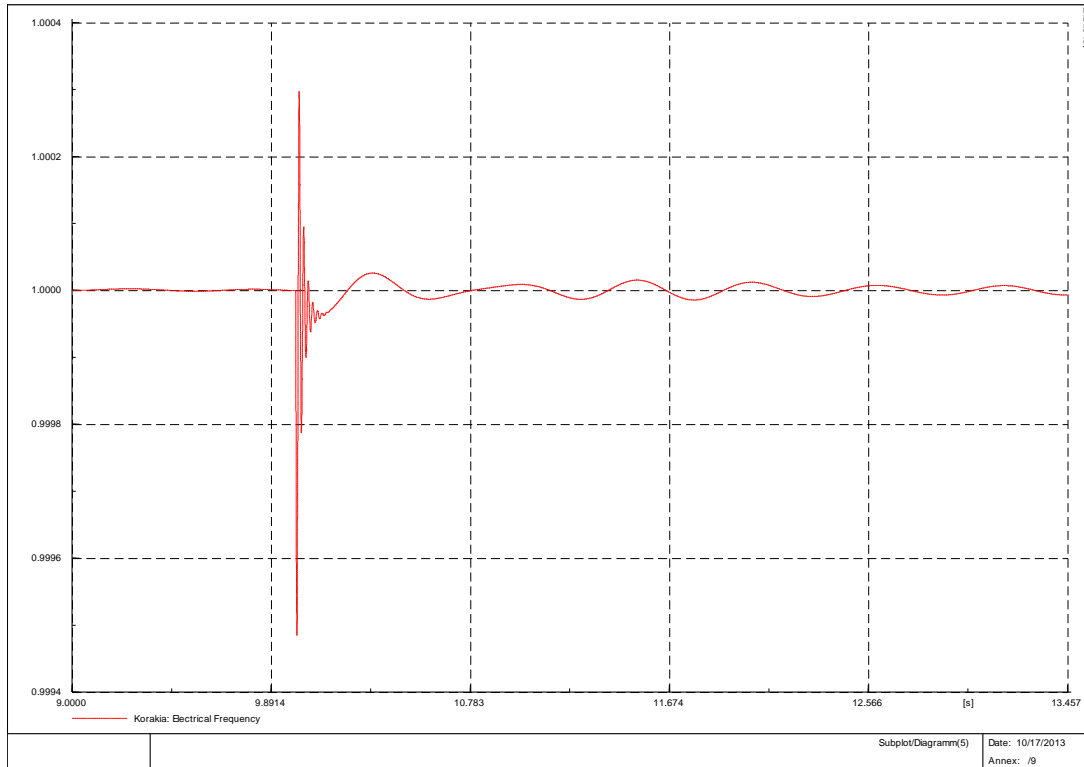
6.3.3 Σενάριο 3

Διαταραχή 1: Απώλεια Μονάδας Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

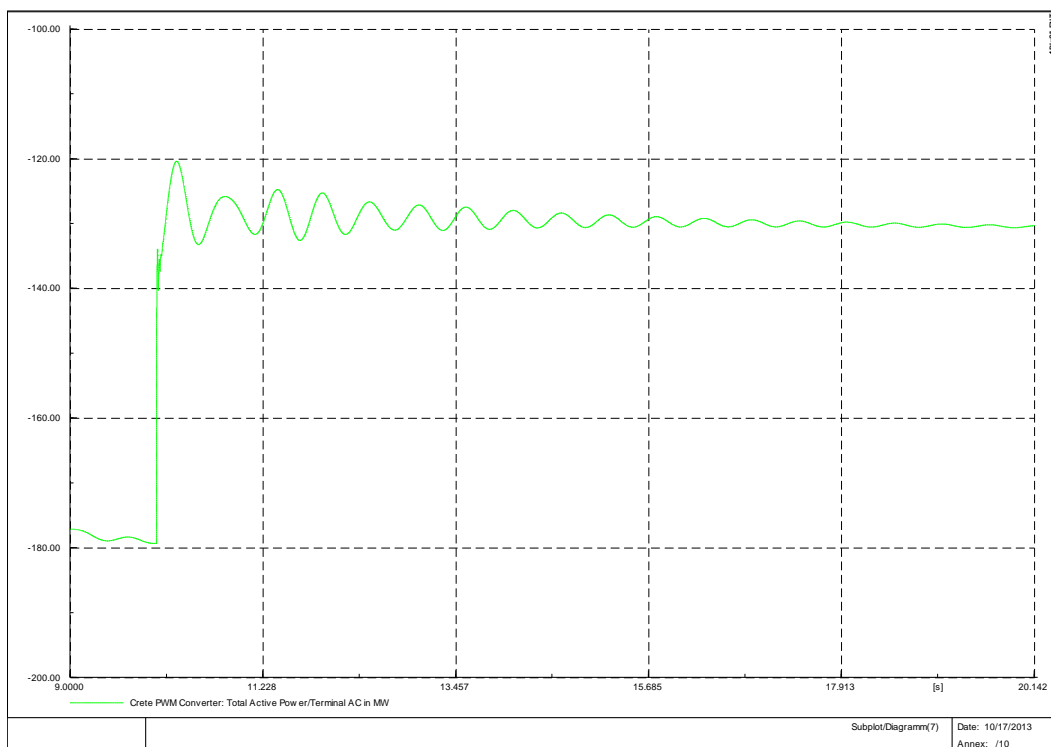


Εικόνα 293: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

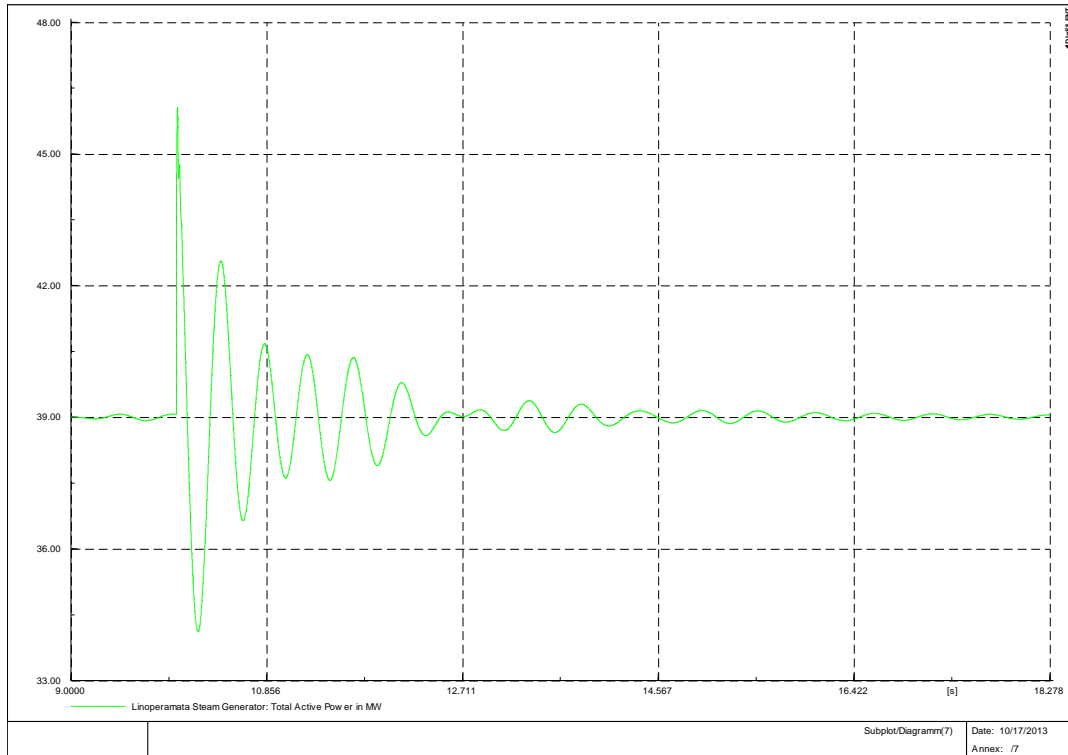


Εικόνα 294: Συχνότητα Συστήματος

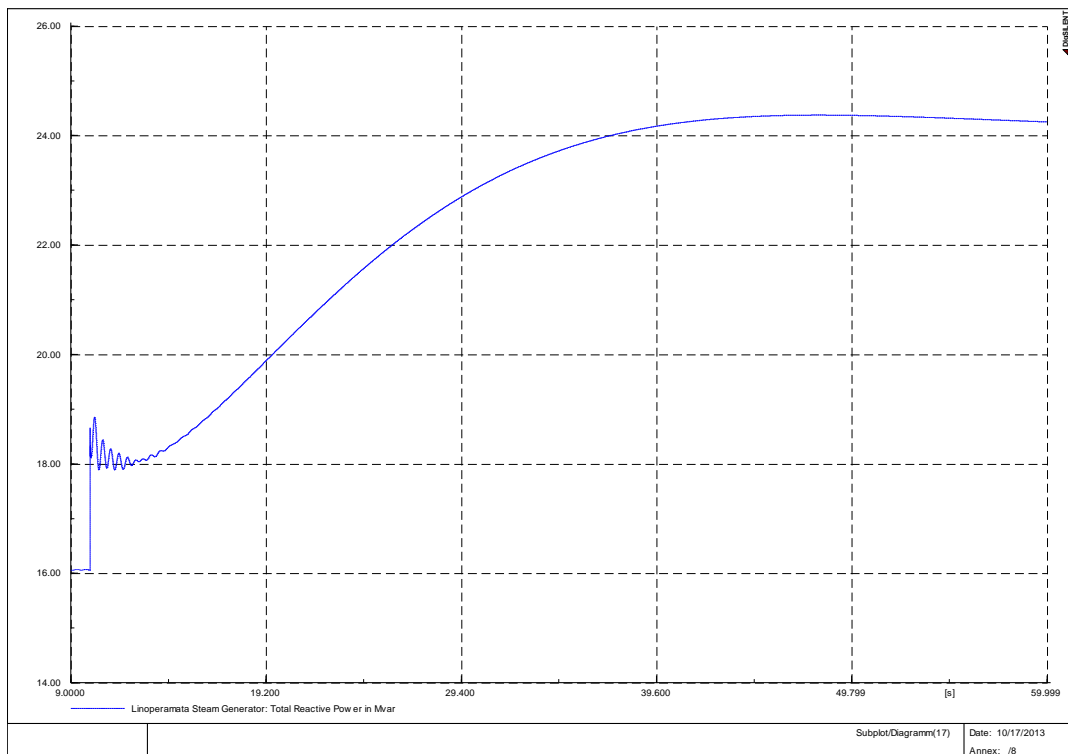


Εικόνα 295: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

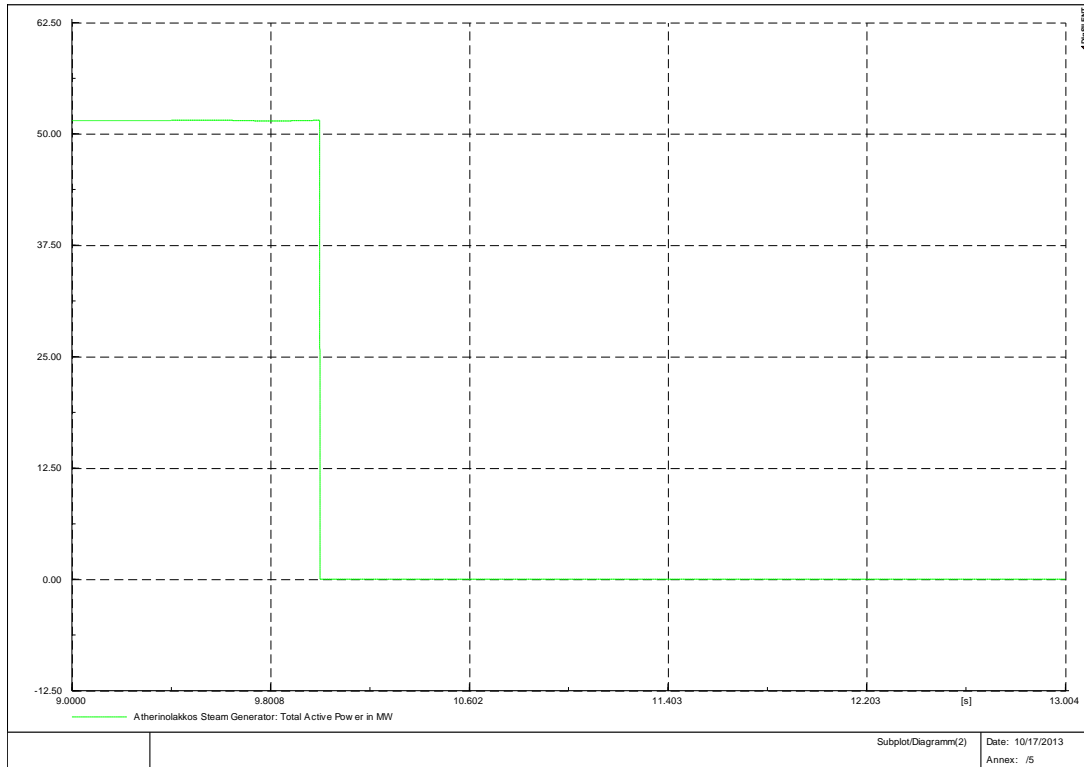


Εικόνα 296: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

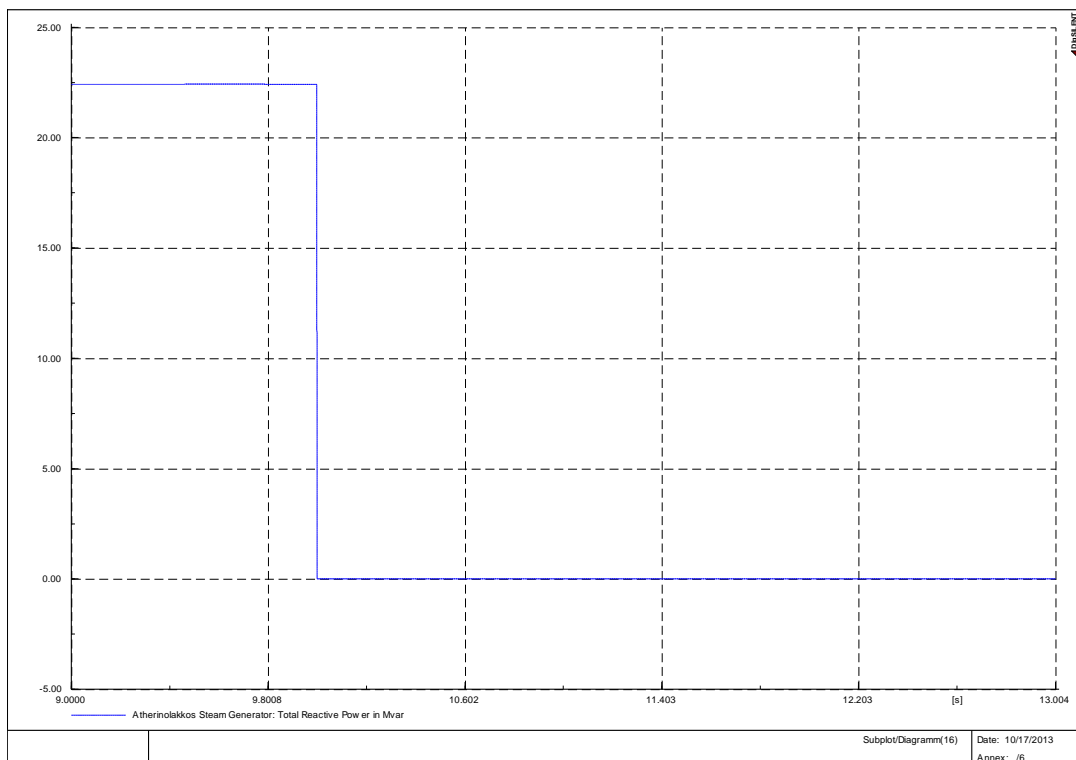


Εικόνα 297: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

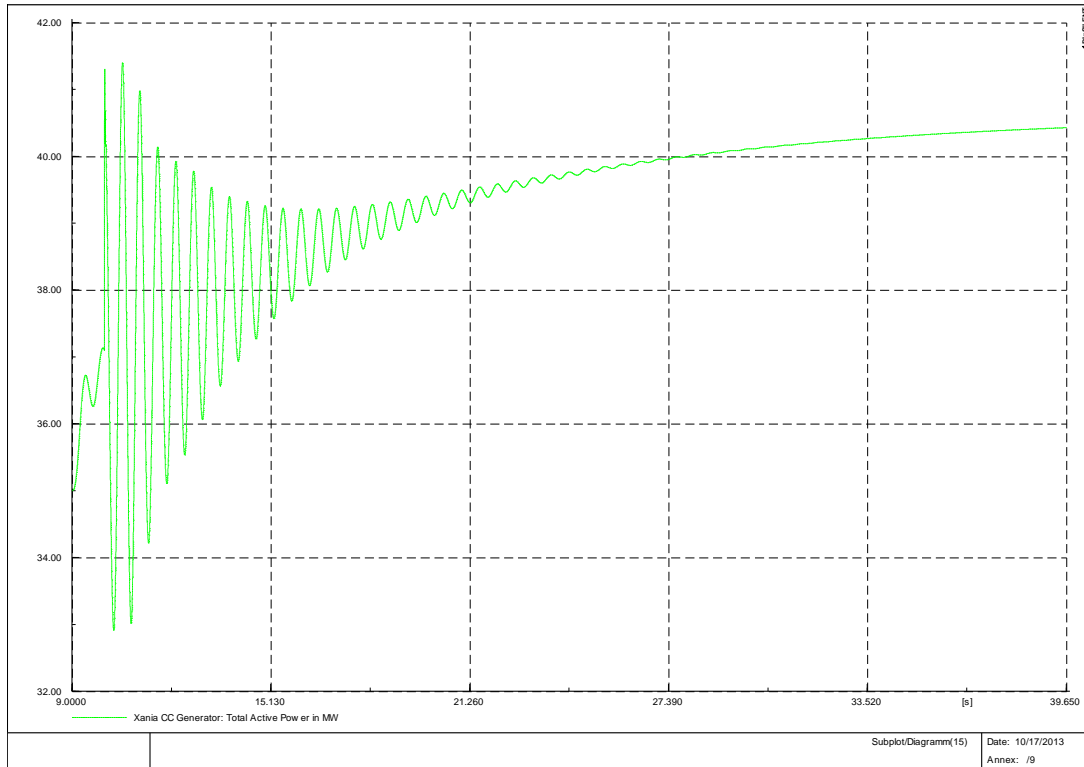


Εικόνα 298: Ενεργός Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

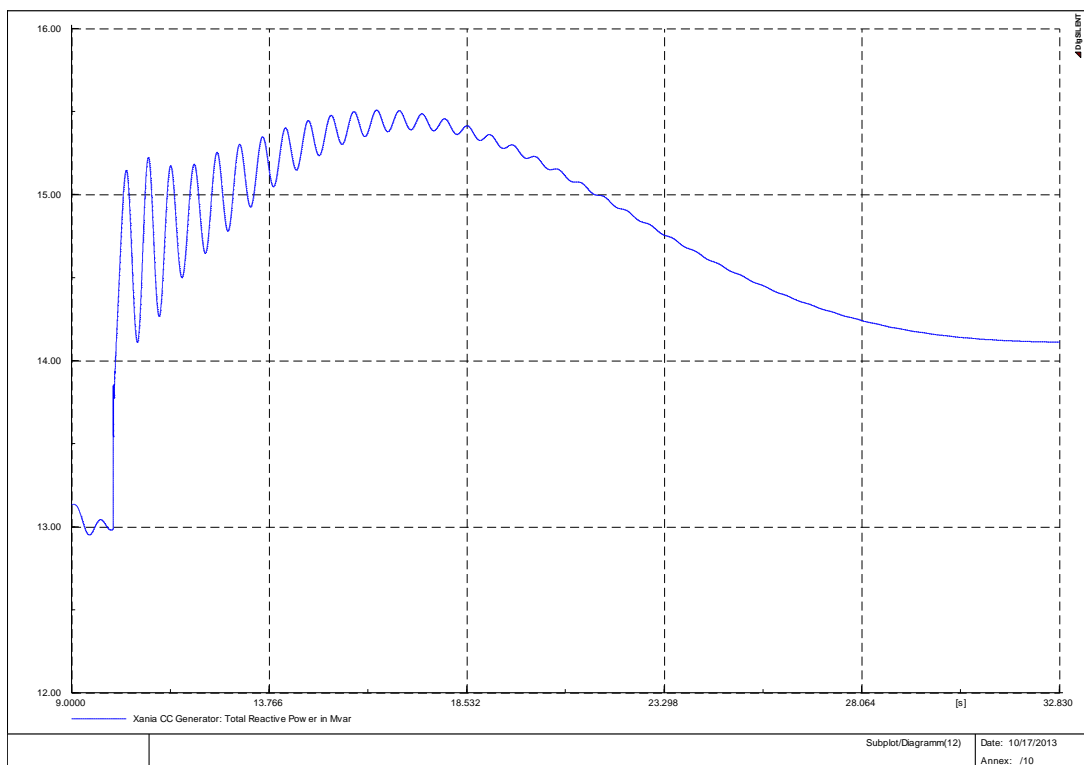


Εικόνα 299: Άεργος Ισχύς Ατμοστροβίλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



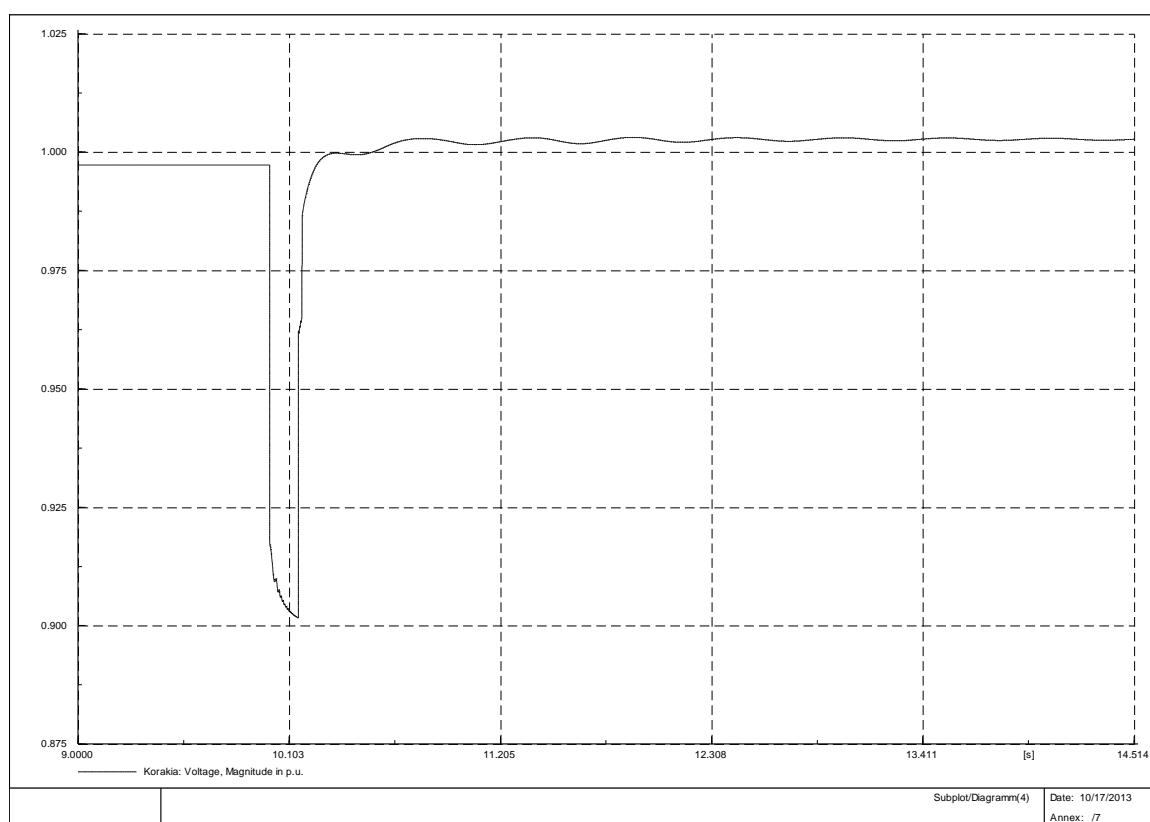
Εικόνα 300: Ενεργός Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων



Εικόνα 301: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

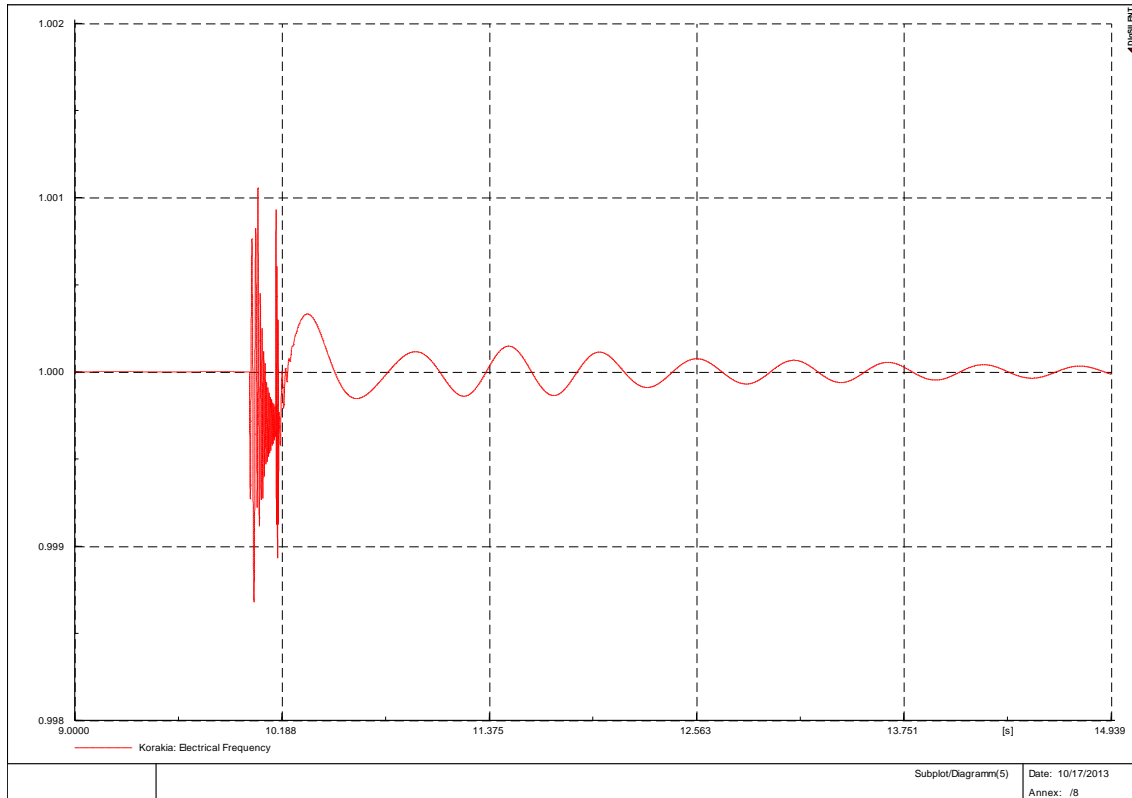
Στην περίπτωση αυτή βλέπουμε στην ουσία τα ίδια αποτελέσματα με την αρχική παραγωγή στο ίδιο σφάλμα, με τη μόνη διαφορά να είναι ίσως οι ανεπαίσθητα χαμηλότερες τάσεις στους ζυγούς. Σε καμία περίπτωση όμως δεν είναι κάτι που αποτελεί πρόβλημα για το σύστημα, το οποίο μπορεί πολύ καλά να σταθεί με τη συγκεκριμένη διαμόρφωση.

Διαταραχή 2: Βραχυκύκλωμα στο ζυγό Σητείας

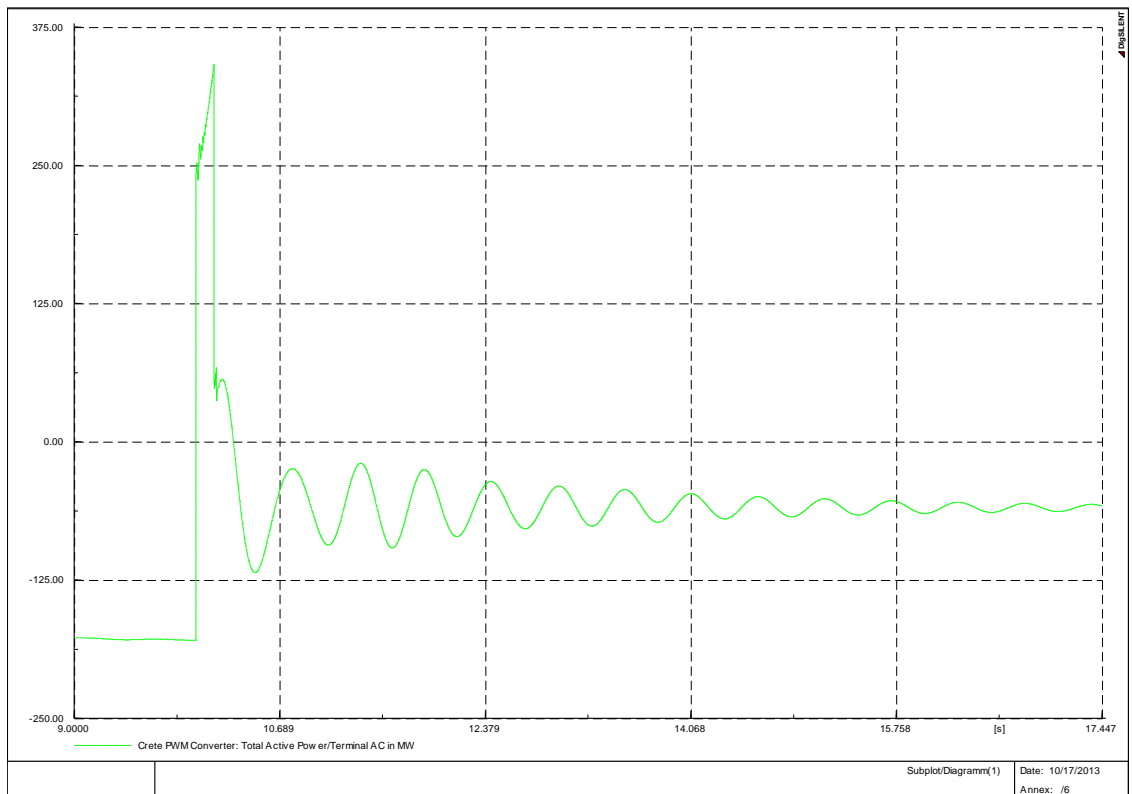


Εικόνα 302: Τάση Κορακιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

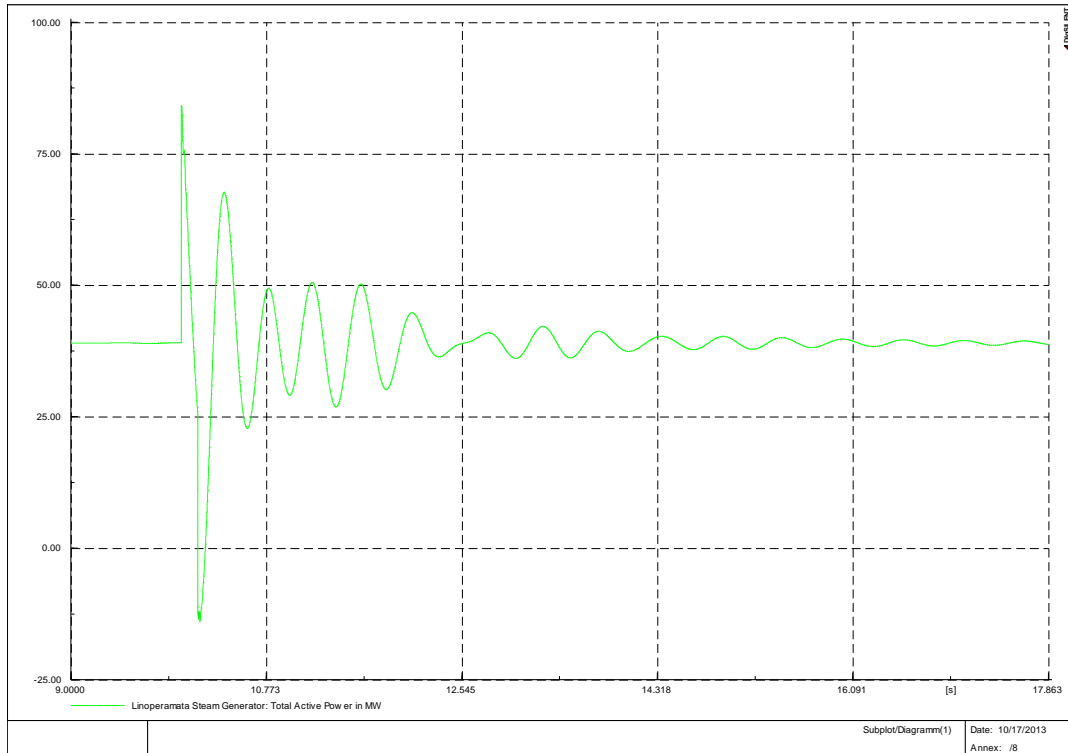


Εικόνα 303: Συχνότητα Συστήματος

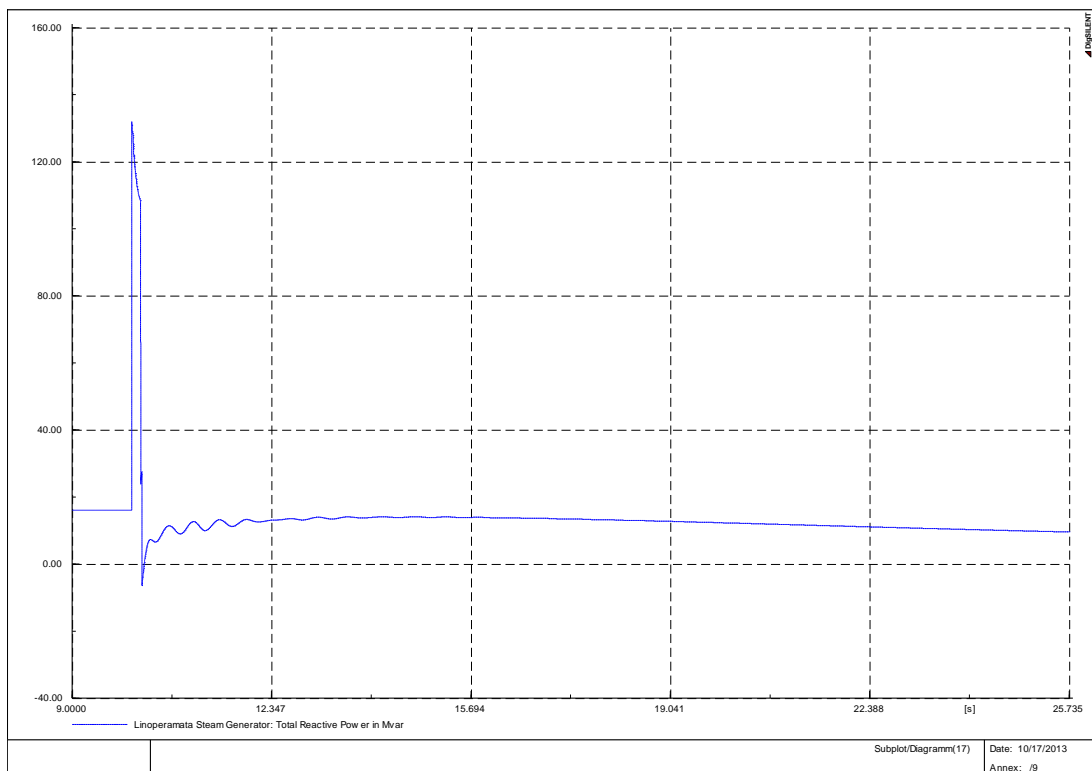


Εικόνα 304: Ενεργός Ισχύς Διασύνδεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

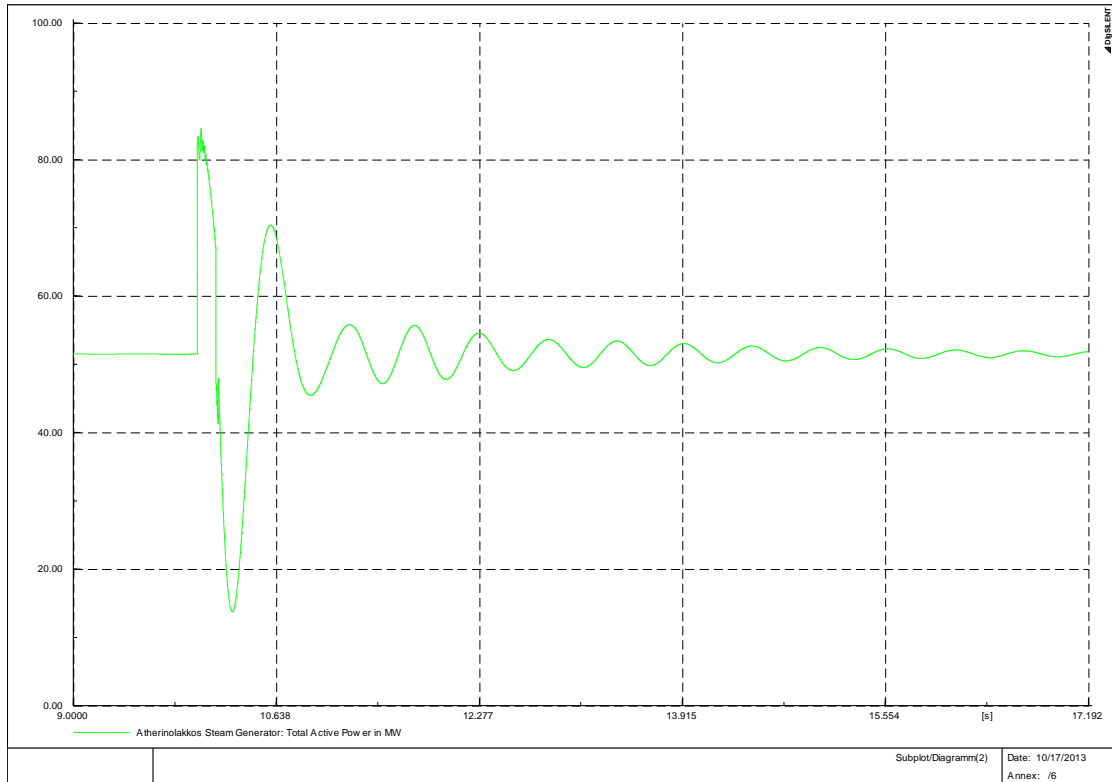


Εικόνα 305: Ενεργός ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

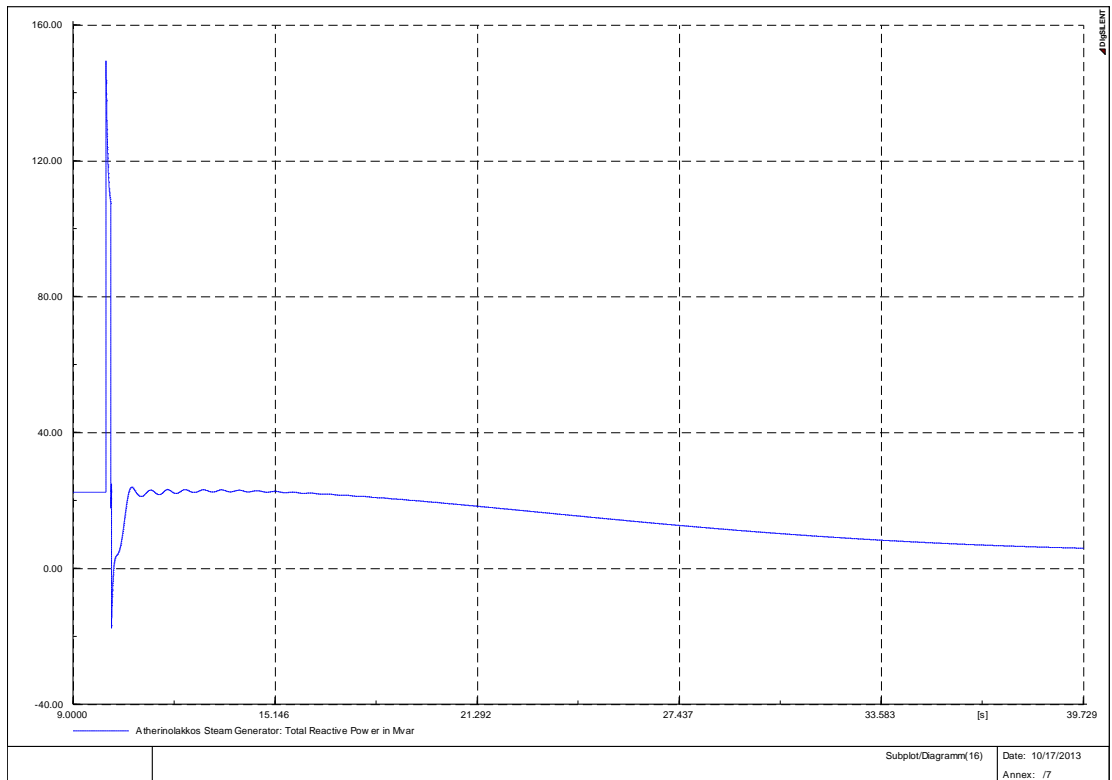


Εικόνα 306: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Λινοπεραμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

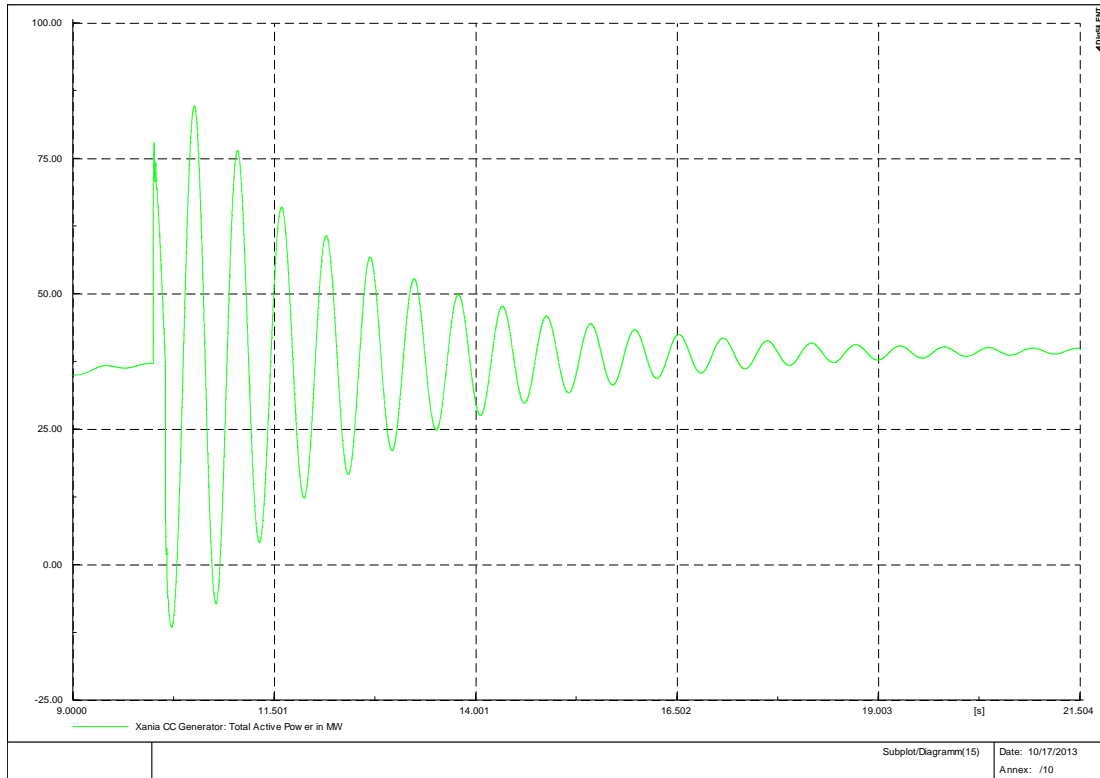


Εικόνα 307: Ενεργός Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

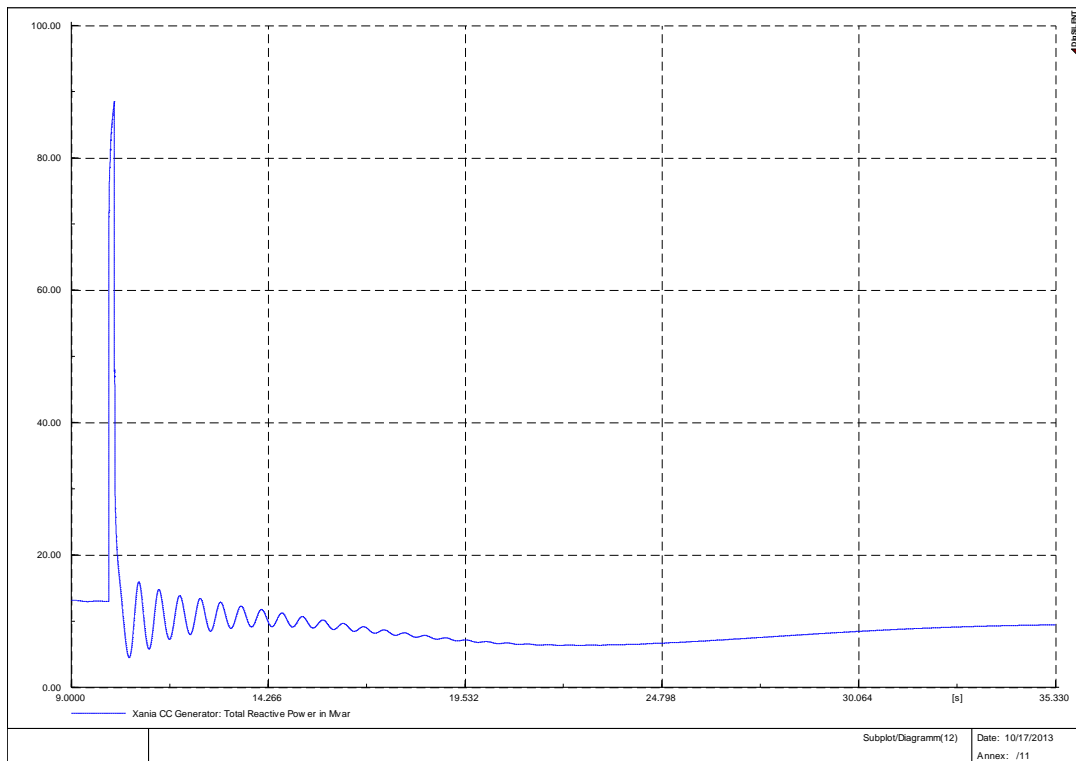


Εικόνα 308: Άεργος Ισχύς Ατμοστρόβιλων Αθερινόλακκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

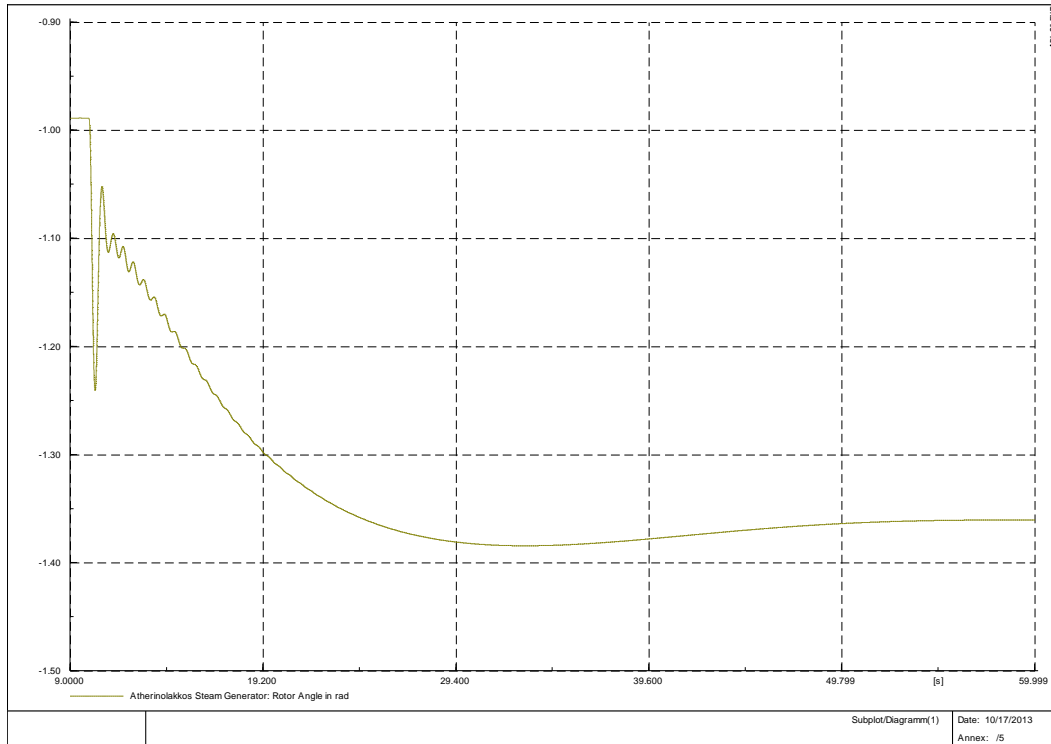


Εικόνα 309: Ενεργός ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

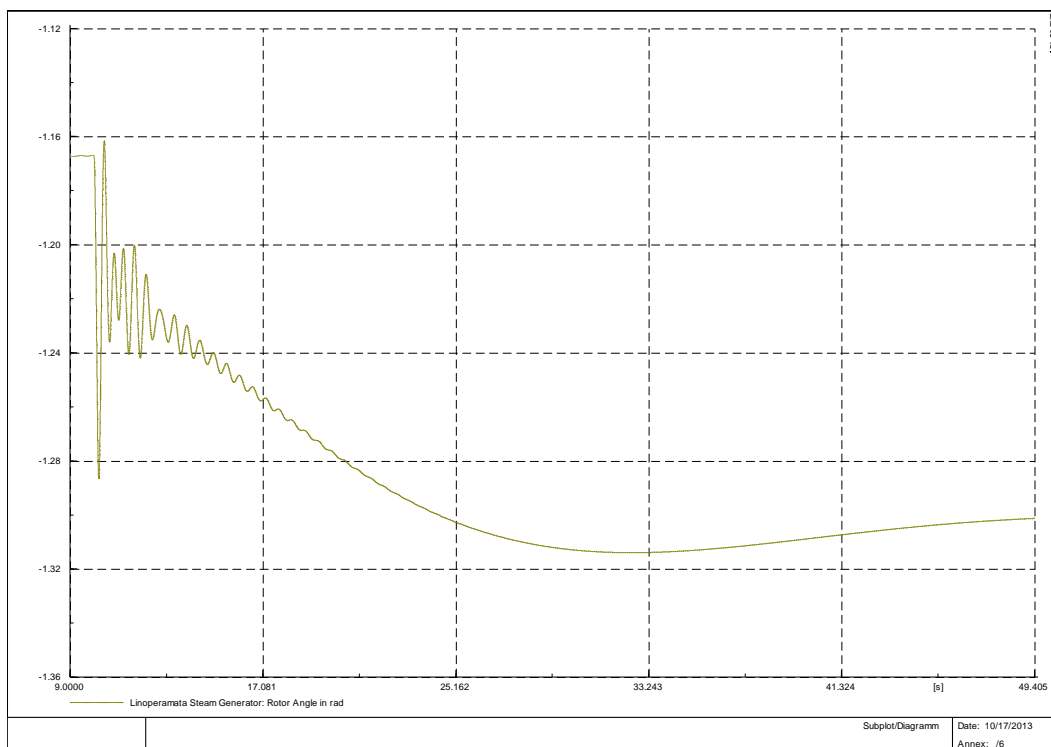


Εικόνα 310: Άεργος Ισχύς Συνδρασμένου Κύκλου Χανίων

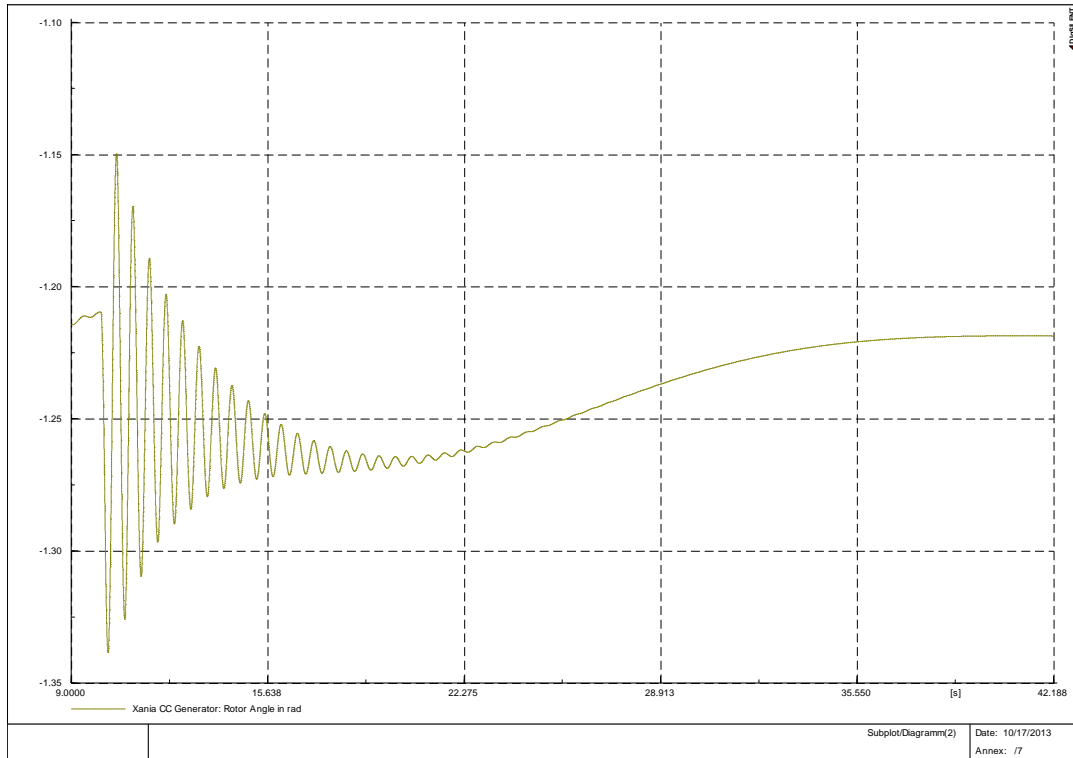
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ



Εικόνα 311: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλου Αθερινόλακκου



Εικόνα 312: Γωνία Δρομέα Ατμοστρόβιλου Λινοπεραμάτων



Εικόνα 313: Γωνία Δρομέα Συνδυσασμένου Κύκλου Χανίων

Στην περίπτωση αυτή βλέπουμε να βγαίνουν εκτός δύο από τους τέσσερις αιολικούς σταθμούς, η Σητεία (στην οποία γίνεται το βραχυκύκλωμα) και η Μαρωσιά. Η διασύνδεση καλύπτει όλη την έλλειψη και έτσι το σύστημα επανέρχεται πάλι στις αρχικές του τιμές.

Συμπερασματικά, βλέπουμε στην παράγραφο 6.2 πως η διασύνδεση μπορεί να λειτουργήσει καλά ως στήριγμα για το σύστημα σε περιπτώσεις σφάλματος στις οποίες χωρίς τη διασύνδεση πιθανότατα θα είχαμε κατάρρευση. Στην παράγραφο 6.3 βλέπουμε πως η διασύνδεση μπορεί και να υποκαταστήσει εν μέρει την τοπική παραγωγή (όσον αφορά το σενάριο 1) ή να δώσει τη δυνατότητα για καλύτερη εκμετάλλευση των αιολικών, καλύπτοντας παράλληλα την παραγωγή εκείνων που βγαίνουν εκτός λόγω κάποιου σφάλματος.

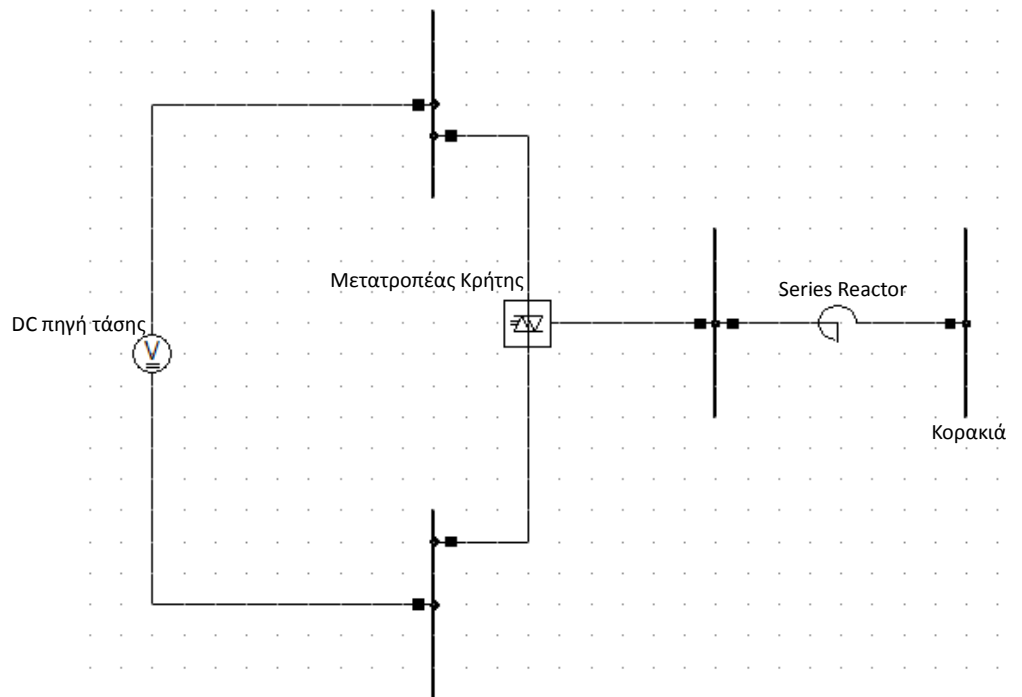
Γενικά η μελέτη της διασύνδεσης δίνει πολύ θετικά αποτελέσματα, αφού εξασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία του συστήματος όχι μόνο στη σταθερή κατάσταση αλλά και στα σοβαρά σφάλματα που είδαμε. Τα δείγματα αυτά είναι ενθαρρυντικά για την άμβλυνση του προβλήματος που παρουσιάζει το σύστημα της Κρήτης.

Πρέπει όμως να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα σενάρια με την τροποποιημένη παραγωγή, καθώς, όπως παρατηρήθηκε, η αντικατάσταση των συμβατικών σταθμών με αιολικούς οδηγεί σε σημαντική πτώση των τάσεων σε κάποιους ζυγούς. Το φαινόμενο παρατηρήθηκε κυρίως στο σενάριο 1. Από τα σενάρια 2 και 3 βλέπουμε πως μπορεί να γυρίσει ενέργεια προς το Λαύριο για να αξιοποιηθούν τα αιολικά, χωρίς να υπάρχει κάποια σημαντική πτώση της τάσης στους ζυγούς της Κρήτης.

6.4 Υλοποίηση με DC πηγή

Η υλοποίηση της HVDC διασύνδεσης έδωσε καλά αποτελέσματα στις ροές φορτίου (γρήγορη σύγκλιση και καλή κατανομή ροής). Στο τρέξιμο των προσομοιώσεων τα αποτελέσματα ήταν εξίσου καλά, μόνο που μετά την πραγματοποίηση των σφαλμάτων υπήρξε μια μικρή ταλάντωση των μεγεθών, αντί να γίνει πλήρης επαναφορά στα φυσιολογικά μεγέθη. Αυτή η ταλάντωση παρατηρήθηκε αφού το σύστημα έδειχνε να αποκρίνεται όπως πρέπει στα σφάλματα.

Για να είναι πιο ομαλή η διεξαγωγή των προσομοιώσεων, λήφθηκε η απόφαση η πλειονότητά τους να πραγματοποιηθούν με ένα εναλλακτικό κύκλωμα διασύνδεσης, με το οποίο δεν παρατηρήθηκε κανένα πρόβλημα όσον αφορά την επαναφορά των μεταβλητών στις κανονικές τιμές. Το κύκλωμα φαίνεται παρακάτω:



7. Συμπεράσματα

7.1 Σύνοψη

Η Κρήτη, ως το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας, έχει και σημαντικές απαιτήσεις ισχύος σε σχέση με μικρότερα νησιά. Αυτή η ζήτηση αυξάνεται όλο και περισσότερο, με αποτέλεσμα οι εγκατεστημένοι σταθμοί να μπορούν ολοένα και πιο δύσκολα να καλύψουν τα φορτία. Αυτό γίνεται περισσότερο αισθητό τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε και παρουσιάζεται η ετήσια αιχμή. Αυτή η υπερφόρτωση του δικτύου το καθιστά ανίκανο να αντέξει ένα σοβαρό σφάλμα, όπως αυτά που μελετήσαμε.

Για το λόγο αυτό κρίνεται επωφελής μια σύνδεση με το ηπειρωτικό δίκτυο. Ο ρόλος αυτής δε θα είναι να αντικαταστήσει εξ' ολοκλήρου τις μονάδες του νησιού, αλλά να ενισχύσει τη στιβαρότητα του τοπικού δικτύου έναντι σε σφάλματα και να βοηθήσει στην εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού, στέλνοντας την ενέργεια που παράγεται προς το Λαύριο.

Η VSC-HVDC τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση της διασύνδεσης, που δίνει τη δυνατότητα για ακριβέστερο έλεγχο των διακινούμενων ποσοτήτων ισχύος. Με δεδομένα κατανάλωσης του έτους 2010, στήθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια φόρτισης, το καθένα με και χωρίς σύνδεση (με ίδια παραγωγή και φορτία κάθε φορά) και άλλη μια κατάσταση λειτουργίας με διασύνδεση για κάθε σενάριο. Στο πρώτο δοκιμάστηκε η μείωση της παραγωγής των συμβατικών σταθμών για να αναλάβει η διασύνδεση μέρος της παραγωγής και στα σενάρια 2 και 3 η παραγωγή έμεινε ανέπαφη, αυξήθηκε όμως η παραγωγή των αιολικών, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας διοχετεύεται μέσω της διασύνδεσης στο Λαύριο.

Τα αποτελέσματα από τις διαφορετικές αυτές καταστάσεις έδειξαν πως στις περισσότερες περιπτώσεις η διασύνδεση συμβάλει στη σταθερότερη λειτουργία του δικτύου.

Συγκεκριμένα, όταν τρέχουμε τα δύο σενάρια με διασύνδεση και την ίδια παραγωγή με πριν, το δίκτυο στην περίπτωση της απώλειας σταθμού καταφέρνει να μην καταρρεύσει. Στα βραχυκυκλώματα παρατηρείται επαναφορά των συστημάτων ακόμη και χωρίς τη διασύνδεση. Όπου υπάρχει όμως μεγάλη διείσδυση αιολικών (σενάριο 3), η πτώση τάσης προκαλεί την αποσύνδεσή τους και μεγάλο έλλειμμα ισχύος, το οποίο καλύπτει η διασύνδεση, με αποτέλεσμα η συχνότητα να κρατείται στα αποδεκτά επίπεδα. Αυτό προφανώς δε μπορεί να συμβεί όταν δεν υπάρχει η διασύνδεση, γιατί οι συμβατικοί σταθμοί μέχρι μια συγκεκριμένη απώλεια αιολικών μπορούν να καλύψουν. Στα σενάρια 1 και 2 τα αποτελέσματα στα βραχυκυκλώματα με και χωρίς σύνδεση παρουσιάζουν ουσιαστικά την ίδια εικόνα.

Η δοκιμή της απώλειας μονάδας στο σενάριο 1 με ανάληψη μερίδας της παραγωγής από την διασύνδεση έδειξε πως το σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί, όμως οι τάσεις πολλών ζυγών πέφτουν χαμηλά (μέχρι και 0.84 αμ) και δε δείχνουν σημάδια επαναφοράς στα φυσιολογικά επίπεδα. Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, είναι λογικό αποτέλεσμα, αφού η φόρτιση παραμένει ίδια αλλά πολλοί σταθμοί (4 από τους 7) δε λειτουργούν, δεν υπάρχει επομένως η δυνατότητα για τη ρύθμιση της τάσης στο κάθε ζυγό παραγωγής ξεχωριστά. Η διασύνδεση λειτουργεί σωστά,

καταφέρνει δηλαδή να καλύψει αυτόματα το κενό παραγωγής, διατηρώντας παράλληλα την τάση στο ζυγό σύνδεσης (Κορακιά) πρακτικά αμετάβλητη. Είναι παράλογο όμως να περιμένουμε η σύνδεση να κρατήσει την τάση σε όλους τους άλλους ζυγούς ψηλά. Θα μπορούσε να δώσει άεργο στο σύστημα για να στηριχθούν οι τάσεις, έτσι όμως δε θα ήταν δυνατή η άμεση κάλυψη του κενού της ενεργού ισχύος. Αντ' αυτού προτείνεται να εγκατασταθεί ειδικός εξοπλισμός (FACTS) σε κάθε ζυγό που να παρέχει την κατάλληλη άεργο τη διατήρηση τάσης σε υψηλά επίπεδα.

Στα σενάρια 2 και 3 με διασύνδεση και ενισχυμένη αιολική διείσδυση, η απώλεια μονάδας λειτούργησε ουσιαστικά με τον ίδιο τρόπο όπως και στη διασύνδεση με παραγωγή κυρίως από συμβατικούς. Είναι παρ' όλα αυτά ενθαρρυντικό το γεγονός πως το σύστημα καταφέρνει να λειτουργεί απρόσκοπτα, αφού έτσι γίνεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση των αιολικών.

Το βραχυκύκλωμα στις ίδιες συνθήκες δεν είχε κάποια ειδοποιό διαφορά στο σενάριο 1. Στα σενάρια 2 και 3 φαίνεται πάλι πως η διασύνδεση μπορεί να καλύψει την απώλεια των αιολικών.

7.2 Περαιτέρω έρευνα

Το θέμα της διασύνδεσης της Κρήτης, λόγω της πολυπλοκότητάς του, χρήζει περαιτέρω μελετών. Σίγουρα θα πρέπει να προσομοιωθεί το πλήρες κύκλωμα της διασύνδεσης, ίσως και με το Λαύριο σαν πραγματικό κι όχι άπειρο ζυγό. Πιο ακριβή δεδομένα πρέπει να χρησιμοποιηθούν όσον αφορά τη σύνδεση καθαυτή, όπως ακριβές μήκος γραμμών και είδος καλωδίων που θα ποντιστούν.

Το θέμα του ελέγχου πρέπει να μελετηθεί σε περισσότερο βάθος, καθώς είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί ένα σύστημα που να στηρίζει αποτελεσματικά τη DC τάση ώστε να μπορεί και ο μετατροπέας στην Κρήτη να λειτουργεί απρόσκοπτα.

Πρέπει επίσης να δοθεί σημασία και στην ακριβή αναπαράσταση των αιολικών πάρκων, μαζί με τα ηλεκτρονικά ισχύος που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεσή τους στο δίκτυο. Είναι πιθανό μια πιο εμπειριστατωμένη μοντελοποίηση να εξαλείψει τις πτώσεις τάσεων που παρατηρήθηκαν όταν στο μίγμα υπήρχε μεγάλη ποσότητα αιολικών. Οι inverters που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις αυτές ίσως να βοηθούν στη στήριξη των τάσεων.

Έπειτα, κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιηθούν περισσότερες προσομοιώσεις με άλλα σενάρια και σφάλματα, για να δημιουργηθεί μια πληρέστερη εικόνα για την επίδραση που μπορεί να έχει η διασύνδεση σε όλο το φάσμα των καταστάσεων λειτουργίας του συστήματος της Κρήτης.

Είναι σημαντικό να εξεταστούν και σημεία που δε προσεγγίστηκαν καθόλου στην παρούσα εργασία. Ένα από αυτά είναι η ανάλυση των αρμονικών πάνω στη διασύνδεση, που περιλαμβάνει τη λεπτομερή σχεδίαση όλων των σχετικών φίλτρων. Γενικότερα η ποιότητα ισχύος είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα σε οποιοδήποτε δίκτυο, και δε περιορίζεται μόνο στις τιμές της τάσης και της συχνότητας.

Όλα τα παραπάνω (κι ακόμη περισσότερα) αφορούν την καθαρά τεχνική πλευρά της διασύνδεσης. Για το έργο στο σύνολό του θα πρέπει να γίνουν φυσικά και άλλες μελέτες, όπως περιβαλλοντολογική μελέτη για την εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και φυσικά τεχνοοικονομική μελέτη, που θα λαμβάνει υπόψη της τα διάφορα κόστη για διαφορετικούς τρόπους διασύνδεσης.

Το θέμα της διασύνδεσης με την Κρήτη βρίσκεται ακόμα σε εμβρυϊκό στάδιο και θα περάσουν αρκετά χρόνια ακόμη μέχρι την πραγματοποίηση του έργου. Εντούτοις ακόμα και σ' αυτό το στάδιο τέτοιες μελέτες είναι πολύ σημαντικές, καθώς ανοίγουν το δρόμο για την κατασκευή ενός έργου που μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμο αλλά κυρίως να προσφέρει σε μεγάλο κομμάτι του πληθυσμού της χώρας ηλεκτρική ενέργεια με καλύτερη αξιοπιστία. Εξάλλου, απώτερος στόχος της τεχνολογίας είναι να υπηρετεί την κοινωνία και τον άνθρωπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παράρτημα**PWM Converter/ 2 DC connections**

Κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν κάποια στοιχεία για τα στοιχεία τα οποία προσπαθούμε να ελέγξουμε, δηλαδή τους μετατροπείς πηγής τάσης. Το αντίστοιχο στοιχείο που χρησιμοποιήθηκε στο Powerfactory είναι το "PWM Converter/ 2 DC Connections", και τα βασικά του στοιχεία βρέθηκαν στο τμήμα του Technical Reference του software που χρησιμοποιούμε.

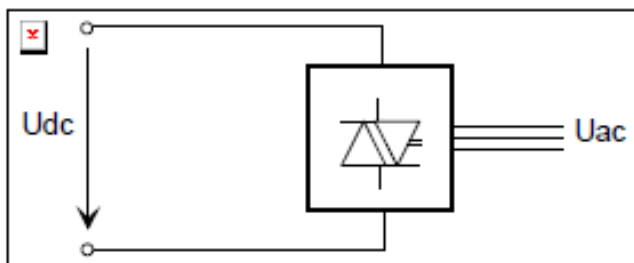


Figure 1: PWM-Converter

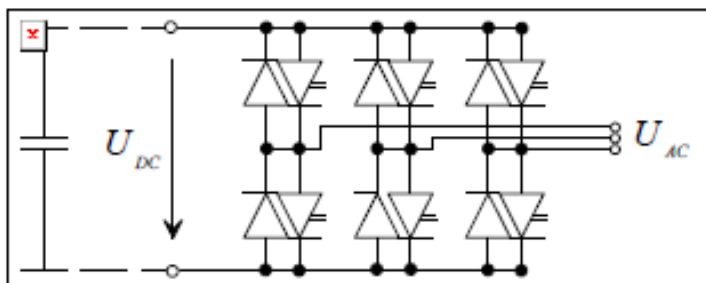


Figure 2: Equivalent Circuit, with DC-Capacitance (not part of the model)

Το μοντέλο του PWM Converter μοντελοποιεί έναν μετατροπέα πηγής τάσης με εξαναγκασμένη μεταγωγή. Υποστηρίζεται ημιτονοειδής και τριγωνική διαμόρφωση εύρους παλμών. Ο ορισμός της παραμέτρου K_0 εξαρτάται από την επιλεγμένη μέθοδο.

Μοντέλο Θεμελιώδους Συχνότητας

Τα μοντέλα όλων των λειτουργιών σταθερής κατάστασης, συμπεριλαμβανομένου και της RMS προσομοίωσης αλλά και του γενικού μοντέλου για τις EMT προσομοιώσεις βασίζονται στην προσέγγιση της θεμελιώδους συχνότητας.

Σε αυτή τη συχνότητα, που εδώ είναι 50 Hz, ο ιδανικός μετατροπέας χωρίς απώλειες μπορεί να μοντελοποιηθεί από μια AC πηγή τάσης που εξαρτάται από μια DC τάση και διατηρεί σταθερή την ενεργό ισχύ ανάμεσα στην AC και την DC πλευρά. Οι απώλειες μπορούν να συμπεριληφθούν με μια αντίσταση ανάμεσα στους DC ακροδέκτες του converter, αφού οι σημαντικότερες απώλειες εξαρτώνται από το V^2 .

Για τιμές $|P_m| < 1$, ισχύουν οι σχέσεις:

$$U_{ACr} = K_0 * Pm_r * U_{DC}$$

$$U_{ACi} = K_0 * Pm_i * U_{DC}$$

Και, θεωρώντας μηδενικές απώλειες ενεργού ισχύος στον Converter:

$$P_{AC} = Re(\tilde{U}_{AC} \tilde{I}_{AC}^*) = U_{DC} * I_{DC} = P_{DC}$$

όπου

U_{ACr} : Πραγματικό μέρος της AC τάσης

U_{ACi} : Φανταστικό μέρος της AC τάσης

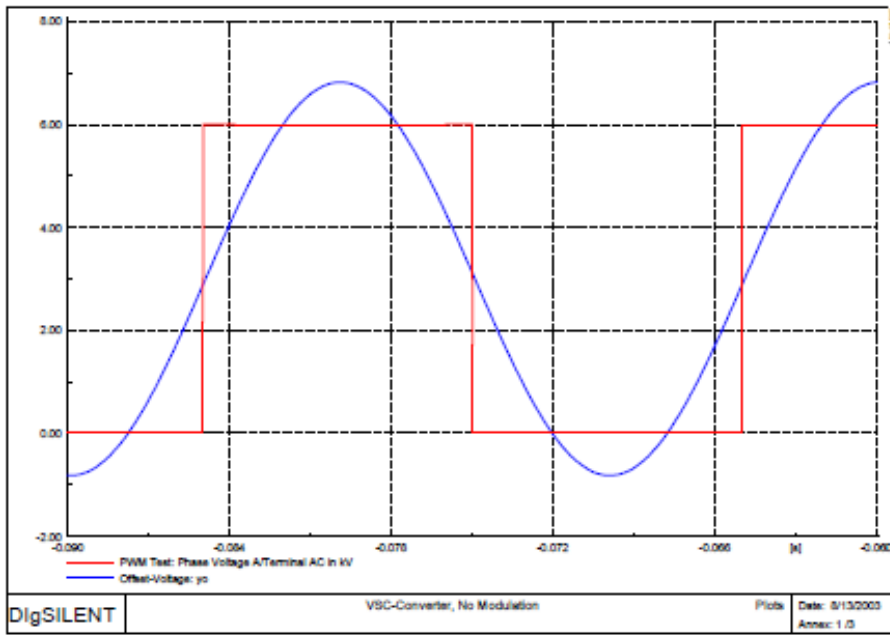
K_0 : Σταθερά που εξαρτάται από τη μέθοδο διαμόρφωσης

Pm_r : Πραγματικό μέρος του δείκτη διαμόρφωσης

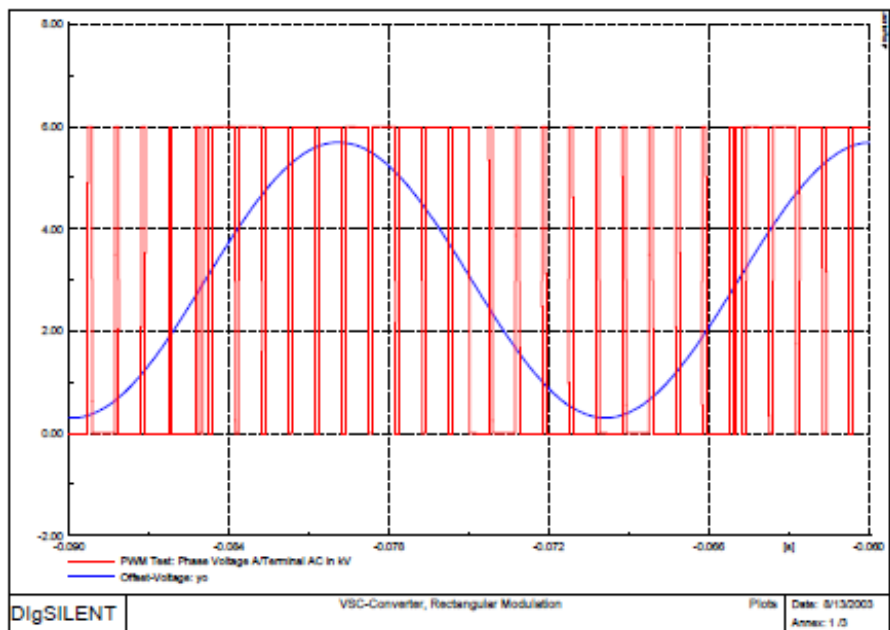
Pm_i : Φανταστικό μέρος του δείκτη διαμόρφωσης

Ο δείκτης διαμόρφωσης Pm αποτελεί τη μεταβλητή ελέγχου του μετατροπέα και είναι ένας μιγαδικός αριθμός ο οποίος ορίζεται είτε από πραγματικό και φανταστικό μέρος, είτε από μέτρο και φάση.

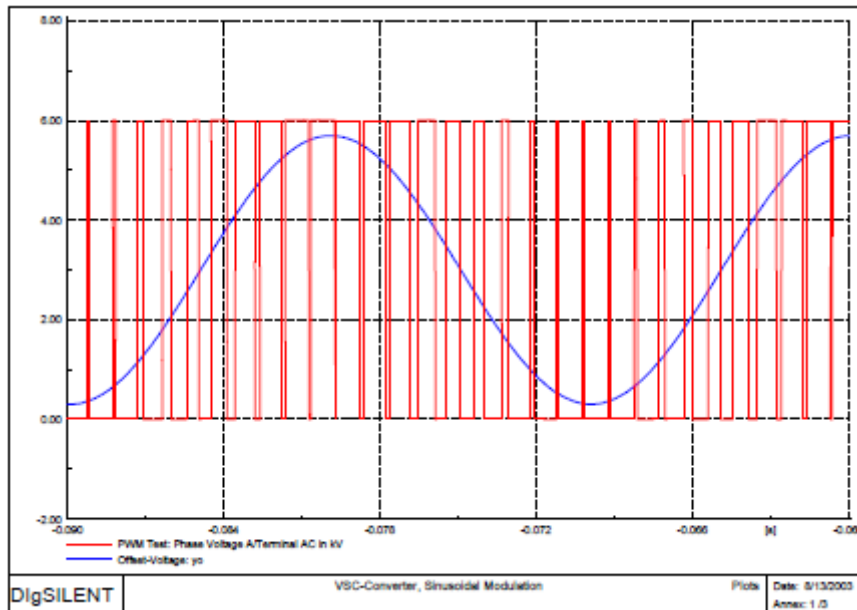
Ο μετατροπέας υποστηρίζει ορθογώνια ή ημιτονοειδή διαμόρφωση. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες γραφικές παραστάσεις της τάσης εξόδου και της θεμελιώδους συνιστώσας της για τις διαφορετικές μεθόδους διαμόρφωσης.



Εικόνα 314: Τάση και θεμελιώδης συνιστώσα χωρίς διαμόρφωση



Εικόνα 315: Τάση και θεμελιώδης συνιστώσα με ορθογώνια διαμόρφωση



Εικόνα 316: Τάση και θεμελιώδης συνιστώσα με ημιτονοειδή διαμόρφωση

Όπως φαίνεται, χωρίς τη διαμόρφωση παράγεται μια τάση που απέχει πολύ από τη θεμελιώδη της (και επιθυμητή), αφού περιέχει μεγάλο αριθμό αρμονικών. Η κατάσταση είναι καλύτερη με την ορθογώνια, αλλά την καλύτερη προσέγγιση στο ημίτονο την παίρνουμε με την ημιτονοειδή διαμόρφωση, όπου φαίνεται ξεκάθαρα η άμεση αναλογία ανάμεσα στο duty cycle του παλμού και της τιμής της θεμελιώδους συνιστώσας.

Στην περίπτωση που δεν εφαρμόζεται κάποια διαμόρφωση, οι δείκτες έχουν τιμή 1 και ο μετατροπέας δε μπορεί να ελεγχθεί (εικόνα 312). Η σταθερά K_0 στην περίπτωση αυτή έχει την τιμή:

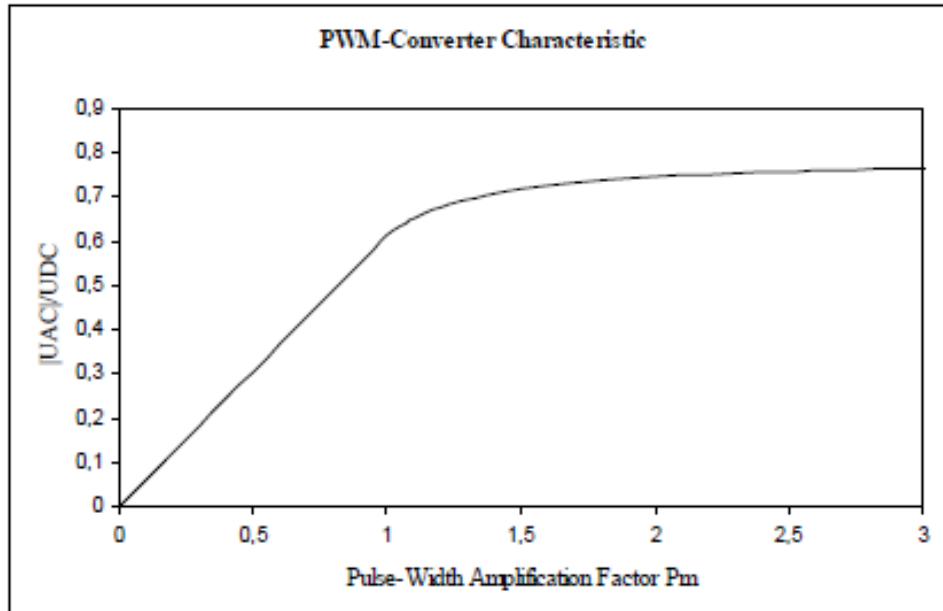
$$K_0 = \frac{\sqrt{2} * \sqrt{3}}{\pi}$$

- Στην ορθογώνια διαμόρφωση, ο λόγος των χρόνων που η τάση είναι ON και OFF είναι σταθερή. Η σταθερά K_0 ορίζεται πάλι όπως και προηγουμένως.
- Στην ημιτονοειδή διαμόρφωση, ο μέσος όρος κάθε παλμού αντιστοιχεί στο ημίτονο αναφοράς (σχήμα πάνω). Η ποσότητα των αρμονικών εδώ είναι σημαντικά χαμηλότερη από την προηγούμενη μέθοδο, κάτι που εξηγεί γιατί είναι αυτός είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος διαμόρφωσης. Η σταθερά K_0 είναι:

$$K_0 = \frac{\sqrt{3}}{2 * \sqrt{2}}$$

Κορεσμός

Για τιμές $|P_m| > 1$ η συμπεριφορά του μοντέλου εξαρτάται από τον τρόπο διαμόρφωσης. Για την ημιτονοειδή με την οποία και ασχολούμαστε, ο μετατροπέας παρουσιάζει κορεσμό, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την εξής καμπύλη:



Είναι προφανές πως, για δεδομένη τιμή της DC τάσης, θα δούμε σημαντική αύξηση της AC τάσης μόνο όσο ισχύει $|P_m| < 1$. Αντίστοιχα, για σταθερή AC τάση, υπάρχει ένα κάτω όριο μετά το οποίο η DC τάση θα μείνει περίπου σταθερή, κι αυτό συμβαίνει για $|P_m| < 1$.

Ανάλυση Ροής Φορτίου

Στην ανάλυση ροής φορτίου συνηθίζεται να μην δίνουμε απευθείας τιμές στις μεταβλητές ελέγχου, αλλά να ορίζουμε τις ελεγχόμενες μεταβλητές. Με αυτό τον τρόπο, η μεταβλητή ελέγχου (δηλαδή ο δείκτης διαμόρφωσης) προκύπτει από τη ροή φορτίου.

Το μοντέλο του μετατροπέα υποστηρίζει διάφορες συνθήκες ελέγχου για την ανάλυση ροής φορτίου. Αυτές είναι:

- **PWM-phi:** Εκτελείται ροή φορτίου χωρίς καθορισμό των ελεγχόμενων μεταβλητών. Ορίζονται το πλάτος και η φάση του δείκτη διαμόρφωσης.
- **V_{DC} -Q:** Καθορίζονται η DC τάση και η άεργος ισχύς. Τυπικές εφαρμογές: STATCOM, λειτουργία σε ελεγκτές UPFC, grid-side μετατροπέας σε μηχανές διπλής τροφοδότησης και εφαρμογές VSC-HVDC.

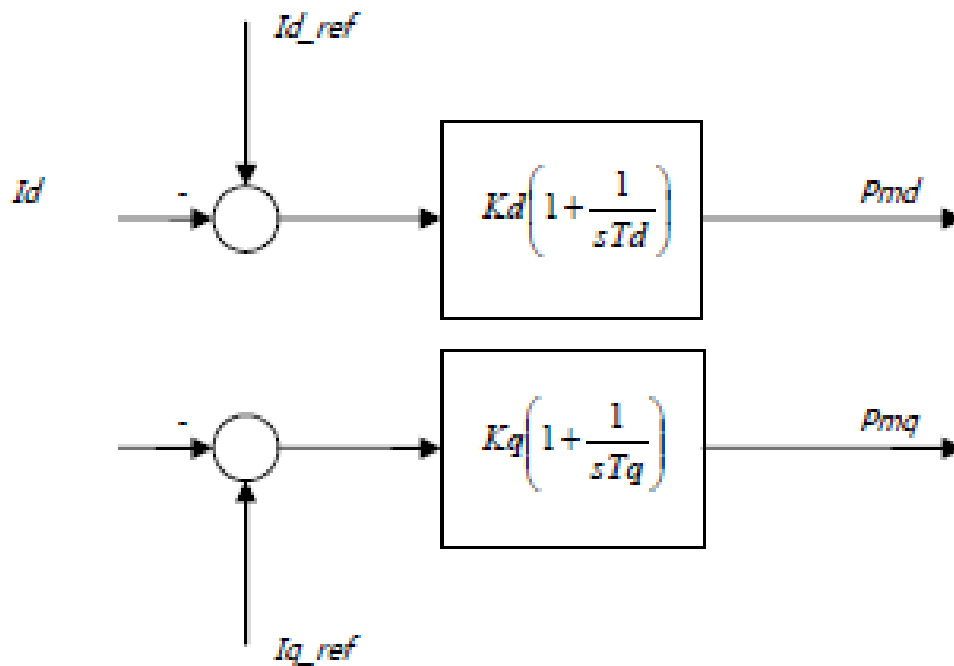
- **V_{ac} - P :** Καθορίζονται η AC τάση και η ενεργός ισχύς. Αυτή η συνθήκη ελέγχου αντιστοιχεί στον "PV" χαρακτηρισμό των συμβατικών σύγχρονων μηχανών. Τυπικές εφαρμογές: Grid-side μετατροπέας σύγχρονων μηχανών που οδηγούνται από μετατροπείς (πχ αιολικές γεννήτριες), VSC-HVDC.
- **P - Q :** Καθορίζονται η ενεργός και άεργος ισχύς. Ο τρόπος ελέγχου αυτός αντιστοιχεί στον χαρακτηρισμό "PQ" των συμβατικών σύγχρονων γεννητριών.

Μεταβατικά

Το μεταβατικό μοντέλο είναι ισοδύναμο του μοντέλου θεμελιώδους συχνότητας που περιγράφηκε πιο πάνω. Ο δείκτης διαμόρφωσης εδώ μπορεί να με τους εξής διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την εφαρμογή:

- **P_{mr} , P_{mi} :** Πραγματικό και φανταστικό μέρος του δείκτη διαμόρφωσης. Εδώ το σύστημα αναφοράς είναι το καθολικό πλαίσιο, που ορίζεται συνήθως από μια μηχανή αναφοράς, εξωτερικό δίκτυο ή πηγή τάσης, και γι αυτό το λόγο το ζεύγος αυτών των εισόδων πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με συσκευές μέτρησης φάσης (PLL) και μετασχηματισμούς πλαισίου αναφοράς.
- **P_{m_in} , $dphi_u$:** Πλάτος και φάση του δείκτη διαμόρφωσης. Αυτή η αναπαράσταση είναι πλήρως αντίστοιχη με την προηγούμενη (η φάση εκφράζεται στο καθολικό πλαίσιο αναφοράς).
- **P_{m_in} , $f0$ (F0Hz):** Το P_{m_in} ορίζει το πλάτος του δείκτη διαμόρφωσης. Η συχνότητα $f0$ επιτρέπει διαφοροποίηση της τάσης εξόδου του μετατροπέα, Αυτό είναι ιδιαίτερος χρήσιμο σε εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας, όπου ο μετατροπέας χρησιμοποιείται για να οδηγήσει μια μηχανή επαγωγής. Η μεταβλητή F0Hz μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά και ορίζει τη συχνότητα σε Hz, ενώ η $f0$ είναι σε ανά μονάδα.
- **P_{md} , P_{mq} , $sinref$, $cosref$:** Αυτό το σύνολο μεταβλητών είναι κατάλληλο για εφαρμογές όπου ο μετατροπέας συνδέεται στο δίκτυο. Επιτρέπει να οριστεί ο phasor του δείκτη διαμόρφωσης σε ένα σύστημα αναφοράς που καθορίζεται από τα $cosref$, $sinref$. Μια πολύ συνήθης εφαρμογή είναι να μετράται η γωνία της τάσης με ένα PLL (Phase-Locked-Loop) και να συνδέεται η έξοδος ενός dq ελεγκτή ρεύματος στις εισόδους P_{md} , P_{mq} . Η έξοδος του PLL πρέπει να συνδέεται στα $sinref$, $cosref$. Το σύνολο αυτό των μεταβλητών αποφεύγει τον σαφή ορισμό μετασχηματισμού πλαισίων αναφοράς.

Ενσωματωμένος Ελεγκτής Ρεύματος



Εικόνα 317: Μπλόκ διάγραμμα του ενσωματωμένου ελεγκτή ρεύματος

Σε πολλές εφαρμογές, ένας ελεγκτής dq ρευμάτων είναι το βασικότερο στοιχείο ενός ελεγκτή PWM μετατροπέα. Υπάρχει η δυνατότητα να ενεργοποιηθεί ενσωματωμένος ελεγκτής, του οποίου η λειτουργία φαίνεται στο σχήμα παραπάνω.

Τα ρεύματα εισόδου στον ελεγκτή είναι τα AC ρεύματα του μετατροπέα εκφρασμένα σε ένα πλαίσιο που ορίζεται από τα σήματα εισόδου \sin_{ref} , \cos_{ref} . Τα σήματα εξόδου P_{md} και P_{mq} ορίζονται από το ίδιο πλαίσιο αναφοράς και μετασχηματίζονται πάλι στο καθολικό σύστημα αναφοράς χρησιμοποιώντας τη ίδια γωνία αναφοράς.

Βιβλιογραφία

- [1] PJM Interconnection : Potomac-Appalachian Transmission Highline (PATH) Project- HVDC Conceptual Study, Black and Veach, Νοέμβριος 2009
- [2] "Generic Models of Wind Turbine Generators for Advanced Applications in a VSC-based Offshore HVDC Network", *L. Zeni, I. Margaris, A. D. Hansen, P. E. Sørensen, P. C. Kjaer*, Δεκέμβριος 2012
- [3] ΕΠΙΣΕΥ, "Μελέτες Ανάπτυξης Συστήματος και Ευστάθειας Αυτόνομων Νησιωτικών Συστημάτων με Υβριδικούς Σταθμούς ΑΠΕ και Αντλησιοταμίευσης-Ενδιάμεση Έκθεση (Β Φάση)", Αθήνα, Μάιος 2011
- [4] ΕΠΙΣΕΥ, "Μελέτες Ανάπτυξης Συστήματος και Ευστάθειας Αυτόνομων Νησιωτικών Συστημάτων με Υβριδικούς Σταθμούς ΑΠΕ και Αντλησιοταμίευσης-Τελική Έκθεση", Αθήνα, Μάιος 2011
- [5] Σακκάς Σωτήρης, Διπλωματική Εργασία: "Ανάλυση Συστήματος Μεταφοράς με Διασύνδεση Σ.Ρ. και PWM Ρυθμιζόμενους Μετατροπείς", Πάτρα, Οκτώβριος 2012
- [6] "Μελέτη Ανάπτυξης του Ηλεκτρικού Συστήματος της Κρήτης-Διασύνδεση με το Ηπειρωτικό Σύστημα", ΡΑΕ-ΔΕΣΜΗΕ-ΔΕΗ, Αθήνα, Απρίλιος 2011
- [7] Ερευνητικό Έργο: "ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΝΗΣΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ", ΡΑΕ, Αθήνα, Νοέμβριος 2008
- [8] "Στρατηγική Μελέτη Ηλεκτρικών Διασυνδέσεων στη ΝΑ Ευρώπη και ο κρίσιμος ρόλος της Ελλάδας", ΡΑΕ, Οκτώβριος 2012
- [9] Πανώρη Αναστασία, Διπλωματική Εργασία: "HVDC Συστήματα Μεταφοράς Ενέργειας", Θεσσαλονίκη 2010
- [10] Technical Article: "HVDC Plus- Basics and Principles of Operation", Siemens AG, Germany 2011
- [11] "Διασύνδεση Αυτόνομου Νησιωτικού Συστήματος Κρήτης με το Ηπειρωτικό Σύστημα- Α' Φάση: Μελέτη Σκοπιμότητας", ΔΕΗ, Αθήνα, Ιούνιος 2008
- [12] "Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς Περιόδου 2010-2014", ΡΑΕ-ΔΕΣΜΗΕ, Φεβρουάριος 2011.
- [13] Adelina Agap, Cristina Madalina Dragan, Master's Thesis: "Multiterminal DC Connection for Offshore Wind Farms", Denmark, June 2009
- [14] Temesgen Mulugeta Haileeslassie, "Control of Multi-terminal VSC-HVDC Systems", Trondheim, June 2008

- [15] Nikolas Flourentzou, Vassilios G. Agelidis, Georgios D. Demetriades, "VSC-Based HVDC Power Transmission Systems: An Overview", IEEE Transactions on Power Electronics vol.24,no. 3, March 2009
- [16] Tamiru Woldeyesus Shire, "VSC-HVDC based Network Reinforcement", TU Delft, May 2009
- [17] Κώδικας Διαχείρισης Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, ΔΕΗ
- [18] Γεώργιος Ρογδάκης, Διπλωματική Εργασία: "Μοντελοποίηση και Ανάλυση Δυναμικής Ευστάθειας της Ηλεκτρικής Διασύνδεσης των Κυκλάδων", Αθήνα, Ιούνιος 2008
- [19] ΔΕΔΗΕ, "Πληροφοριακό Δελτίο Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά για το έτος 2013"
- [20] Vijay K. Sood, "HVDC and FACTS Controllers: Application of Static Converters in Power Systems", 2004
- [21] PSS/E version 33 manual, Siemens, May 2011