



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

**Χρονική Επίδραση της Διεσπαρμένης Παραγωγής στις  
Επενδύσεις ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΩΜΑΣ Ε. ΚΑΣΣΕΛΑΣ**

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ανέστης Αναστασιάδης  
Υ.Δ. Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2008





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

## Χρονική Επίδραση της Διεσπαρμένης Παραγωγής στις Επενδύσεις ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΩΜΑΣ Ε. ΚΑΣΣΕΛΑΣ**

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....

.....

Αθήνα, Ιούλιος 2008

.....  
ΘΩΜΑΣ Ε. ΚΑΣΣΕΛΑΣ

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

Copyright © Θωμάς Ε. Κασσελάς, 2008

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.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2007- 2008 στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση της χρονικής επίδρασης της Διεσπαρμένης Παραγωγής στις Επενδύσεις ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Καθηγητής κ. Ν. Χατζηαργυρίου, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Ανέστη Αναστασιάδη, για τη βοήθεια, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Αθήνα, Ιούλιος 2008

ΘΩΜΑΣ Ε. ΚΑΣΣΕΛΑΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Τα τελευταία χρόνια, θέματα που αφορούν το περιβάλλον, όπως είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η επικείμενη εξάντληση των συμβατικών μορφών ενέργειας, βρίσκονται στο επίκεντρο. Έχει γίνει συνείδηση πως αναγκαία συνθήκη για την αντιμετώπιση των παραπάνω ζητημάτων είναι η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η διείσδυση των εναλλακτικών αυτών πηγών ενέργειας στην διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού υπό τη μορφή διεσπαρμένης παραγωγής αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς. Έτσι, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για την εκτίμηση των πλεονεκτημάτων και χαρακτηριστικών της διεσπαρμένης παραγωγής, πέρα από την επίδραση στα περιβαλλοντικά ζητήματα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του οικονομικού οφέλους που αποκομίζουμε από την τοποθέτηση εγκαταστάσεων διεσπαρμένης παραγωγής (ΑΠΕ, CHP) σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας όσον αφορά στη δυνατότητα που δίνεται για αναβολή των επενδύσεων σε νέους μετασχηματιστές και καλώδια του δικτύου. Με την τοποθέτηση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής, μέρος της ζήτησης θα καλύπτεται από αυτή, επομένως θα μειωθεί το ρεύμα που ζητείται από την κεντρική παραγωγή. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός πως η ζήτηση ισχύος αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου με κάποιο ρυθμό, το ρεύμα θα επιστρέψει στην αρχική τιμή του μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Αυτός θα είναι επομένως ο χρόνος που θα αναβληθεί η αντικατάσταση κάποιου μετασχηματιστή ή καλωδίου του δικτύου που θα πλησιάζει στα όρια λειτουργίας του. Το οικονομικό όφελος προκύπτει από αυτή την αναβολή αν σκεφθεί κανείς πως η χρηματική μονάδα χάνει την αξία της με την πάροδο του χρόνου με κάποιο επιτόκιο. Αρχικά παρουσιάζεται και αναπτύσσεται η ανάλυση ροής φορτίου και η μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ευαισθησίας του ρεύματος ενός ζυγού ως προς το φορτίο όλων των ζυγών του δικτύου, διαδικασίες απαραίτητες για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής των επενδύσεων. Η υλοποίηση των παραπάνω διαδικασιών έγινε με το πρόγραμμα Matlab 7.1. Ακολουθεί η μέθοδος υπολογισμού του χρόνου αναβολής της επένδυσης σε νέους μετασχηματιστές και του χρηματικού κέρδους που προκύπτει από αυτή. Τέλος, δίνονται συγκεκριμένα παραδείγματα στη χαμηλή, τη μέση και την υψηλή τάση, όπου εκτιμάται το όφελος που προκύπτει και εξάγονται ορισμένα τελικά συμπεράσματα για την έκταση και τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το όφελος αυτό.

---

## ABSTRACT

---

In the past few years, environmental issues, such as the greenhouse effect and the imminent exhaustion of conventional energy resources, are placed in the centre of attention, rendering the development of renewable energy a highly critical task. The penetration of distributed generation is rapidly increasing. Thus, the evaluation of its benefits and characteristics, beyond environmental issues, appears to be of great interest.

The aim of this study is to estimate the economic benefit of the installation of distributed generation (renewable energy, CHP) in a power system, regarding its potential to defer investments on distribution wires and transformers. Installation of a DG unit will cover part of the demand, resulting in a reduction in the current of the central generation. Taking into account that the demand continues to grow with a certain rate, the current will reach its original value after a period of time. Thus, it will take more time for the current on transformers and wires to reach their technical limits, and, therefore, required investments will be deferred. The economic benefit is related to the fact that the value of money is changing over time with a certain real interest rate. First, we present the theoretical background of load flow analysis and the methodology for the quantification of the sensitivity of the current in feeder  $k$  with respect to the load in all the feeders of the network. These procedures are necessary for the quantification of the deferral time and were carried out using Matlab 7.1. After, we present the method for the quantification of deferral time and the resultant economic benefit. Finally, we give certain examples in low, medium and high voltage, where the economic benefit is estimated. Some final conclusions are extracted regarding the benefit's extent and the parameters on which this extent depends.

---

## INDEX TERMS

Distributed Generation – Load Flow – Current Sensitivity – Investment Deferral Time

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Διεσπαρμένη Παραγωγή – Ροή Φορτίου – Ευαισθησία Ρεύματος – Χρόνος Αναβολής Επένδυσης.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ</b> .....	- 17 -
<b>1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	- 17 -
1.1.α. Πλεονεκτήματα, Μειονεκτήματα της Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	- 21 -
1.1.β. Διείσδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	- 25 -
<b>1.2. ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ</b> .....	- 26 -
<b>2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΣΗΕ ΛΟΓΩ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b> .....	- 31 -
<b>2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	- 31 -
<b>2.2. ΜΕΛΕΤΗ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ</b> .....	- 31 -
<b>2.3. ΜΕΘΟΔΟΣ NEWTON- RAPHSON</b> .....	- 35 -
<b>2.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ</b> .....	- 36 -
<b>2.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ</b> .....	- 39 -
<b>2.6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ</b> .....	- 45 -
<b>2.7. ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ</b> .....	- 50 -
<b>2.8. ΚΕΡΔΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ</b> .....	- 52 -
<b>3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ</b> .....	- 55 -
<b>3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	- 55 -
<b>3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ <math>\sigma= 300\text{Watt/ Μήνα}</math> και <math>\rho=5\% / \chi\rho\nu\nu\nu</math></b> .....	- 58 -
3.2.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για τη Χαμηλή Τάση .....	- 58 -
3.2.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για τη Χαμηλή Τάση .....	- 69 -
<b>3.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ <math>\sigma</math> και <math>\rho</math> ΓΙΑ ΤΟ ΠΙΟ ΕΥΝΟΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ</b> - 70 -	
3.3.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για τη Χαμηλή Τάση .....	- 70 -
3.3.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για τη Χαμηλή Τάση .....	- 79 -
<b>3.4. ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ</b> .....	- 88 -
3.4.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων .....	- 88 -
3.4.2. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων .....	- 90 -
<b>4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ</b> .....	- 93 -
<b>4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	- 93 -
<b>4.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ <math>\sigma= 4.8\text{ kW/ Μήνα}</math> και <math>\rho=5\% / \chi\rho\nu\nu\nu</math></b> .....	- 96 -
4.2.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για τη Μέση Τάση .....	- 96 -
4.2.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για τη Μέση Τάση.....	- 102 -



4.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ $\sigma$ και $\rho$ .....	- 103 -
4.3.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για τη Μέση Τάση .....	- 103 -
4.3.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για τη Μέση Τάση.....	- 108 -
4.3.3. Σύγκριση ακραίων τιμών $\sigma$ , $\rho$ .....	- 110 -
<b>5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ</b> .....	- 111 -
<b>5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	- 111 -
<b>5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ <math>\sigma= 619.2</math> kW/ Μήνα και <math>\rho=5</math> % / χρόνο</b> .....	- 114 -
5.2.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για την Υψηλή Τάση .....	- 114 -
5.2.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για την Υψηλή Τάση .....	- 120 -
<b>5.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ <math>\sigma</math> και <math>\rho</math></b> .....	- 121 -
5.3.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για την Υψηλή Τάση .....	- 121 -
5.3.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για την Υψηλή Τάση .....	- 123 -
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	- 125 -
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	- 128 -
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ MATLAB</b> .....	- 131 -
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΡΟΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ</b> .....	- 132 -

---

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1.Α:</b> Παραγωγή από ΑΠΕ το 1997 και στόχοι για το 2010 για χώρες της Ε.Ε. ....	- 25 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.Α:</b> Υπολογισμός της ευαισθησίας( $\gamma_{i17}$ ) του ρεύματος $I_{17}$ ,στο ζυγό 17 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό $i$ (A/kW), Ιανουάριος 05:00 .....	- 59 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.Β:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Ιανουάριος 05:00 .....	- 60 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.Γ:</b> Υπολογισμός της ευαισθησίας( $\gamma_{i17}$ ) του ρεύματος $I_{17}$ ,στο ζυγό 17 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό $i$ (A/kW), Ιανουάριος 19:00 .....	- 61 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.Δ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Ιανουάριος 19:00 .....	- 62 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.Ε:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Απρίλιος 05:00 .....	- 63 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.ΣΤ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Απρίλιος 19:00 .....	- 64 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.Ζ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Ιούλιος 05:00 .....	- 65 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.Η:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Ιούλιος 19:00 .....	- 66 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.Θ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Οκτώβριος 05:00 .....	- 67 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.Ι:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Οκτώβριος 19:00 .....	- 68 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.Α:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma$ , $\rho$ , Ιανουάριος 05:00 .....	- 71 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.Β:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για από την επένδυση για διάφορα $\sigma$ , $\rho$ , Ιανουάριος 19:00 .....	- 72 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.Γ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για από την επένδυση για διάφορα $\sigma$ , $\rho$ , Απρίλιος 05:00 .....	- 73 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.Δ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για από την επένδυση για διάφορα $\sigma$ , $\rho$ , Απρίλιος 19:00 .....	- 74 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.Ε:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για από την επένδυση για διάφορα $\sigma$ , $\rho$ , Ιούλιος 05:00 .....	- 75 -

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.ΣΤ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 19:00 .....	- 76 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.Ζ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Οκτώβριος 05:00 .....	- 77 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.Η:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Οκτώβριος 19:00 .....	- 78 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.Α:</b> Εξάρτηση από τον συντελεστή ισχύος, Οκτώβριος 05:00 .....	- 89 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.Β:</b> Εξάρτηση από τον συντελεστή ισχύος, Ιούλιος 19:00 .....	- 89 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.Α:</b> Φορτίο και διεύθυνση DG ενός ζυγού .....	- 94 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.Α:</b> Υπολογισμός της ευαισθησίας( $\gamma_{i1}$ ) του ρεύματος $I_1$ ,στο ζυγό 1 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό $i$ (A/kW), Ιανουάριος 05:00 .....	- 96 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.Β:</b> Υπολογισμός της ευαισθησίας( $\gamma_{i1}$ ) του ρεύματος $I_1$ ,στο ζυγό 1 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό $i$ (A/kW), Ιανουάριος 19:00 .....	- 97 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.Γ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Ιανουάριος .....	- 98 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.Δ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Απρίλιος .....	- 99 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.Ε:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Ιούλιος.....	- 100 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.ΣΤ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Οκτώβριος .....	- 101 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.Α:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Ιανουάριος 05:00 .....	- 104 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.Β:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Ιανουάριος 19:00.....	- 104 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.Γ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Απρίλιος 05:00 .....	- 105 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.Δ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Απρίλιος 19:00 .....	- 105 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.Ε:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 05:00.....	- 106 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.ΣΤ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 19:00 .....	- 106 -

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.Ζ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Οκτώβριος 05:00 .....	- 107 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.Η:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Οκτώβριος 19:00 .....	- 107 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.Α:</b> Φορτίο και διείσδυση DG ενός ζυγού .....	- 113 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.Α:</b> Υπολογισμός της ευαισθησίας( $\gamma_{i1}$ ) του ρεύματος $I_1$ ,στο ζυγό 1 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό $i$ (A/kW), Ιανουάριος 05:00 .....	- 114 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.Β:</b> Υπολογισμός της ευαισθησίας( $\gamma_{i1}$ ) του ρεύματος $I_1$ ,στο ζυγό 1 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό $i$ (A/kW), Ιανουάριος 19:00 .....	- 115 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.Γ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Ιανουάριος.....	- 116 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.Δ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Απρίλιος.....	- 117 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.Ε:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Ιούλιος.....	- 118 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.ΣΤ:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση, Οκτώβριος .....	- 119 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.Α:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 05:00 .....	- 122 -
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.Β:</b> Υπολογισμός χρόνου αναβολής και κέρδους από την επένδυση για διάφορα $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 19:00 .....	- 122 -

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

---

<b>Σχήμα 1.1.α:</b> Δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας .....	- 18 -
<b>Σχήμα 1.1.β:</b> Δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με διεσπαρμένη παραγωγή .....	- 19 -
<b>Σχήμα 1.1.γ:</b> Συμβατικό σύστημα διανομής.....	- 21 -
<b>Σχήμα 1.1.δ:</b> Σύστημα διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή .....	- 21 -
<b>Σχήμα 1.1.ε:</b> Παραγωγή από ΑΠΕ το 1997 και στόχοι για το 2010 για χώρες της E.E.....	- 26 -
<b>Σχήμα 1.2.α:</b> Χρόνος Αναβολής Επένδυσης σε ΣΗΕ με διεσπαρμένη παραγωγή -	27 -
<b>Σχήμα 1.2.β:</b> Το ρεύμα αυξάνεται στο ζυγό εξαιτίας της μονάδας παραγωγής-	28 -
<b>Σχήμα 2.2.α:</b> Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας .....	- 32 -
<b>Σχήμα 2.6.α:</b> Απλό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας .....	- 46 -
<b>Σχήμα 2.6.β:</b> Αντιστάσεις, αντιδράσεις του δικτύου .....	- 46 -
<b>Σχήμα 2.6.γ:</b> Φορτίο του δικτύου .....	- 46 -
<b>Σχήμα 3.1.α:</b> Δίκτυο Χαμηλής Τάσης .....	- 55 -
<b>Σχήμα 3.1.β:</b> Οι διεσπαρμένες στο δίκτυο μονάδες παραγωγής.....	- 56 -
<b>Σχήμα 3.1.γ:</b> Αντιστάσεις και Αντιδράσεις των ζυγών του δικτύου.....	- 56 -
<b>Σχήμα 3.2.α:</b> Συνολική Διείσδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής - Χρόνος Αναβολής της Επένδυσης.....	- 69 -
<b>Σχήμα 3.2.β:</b> Συνολική Διείσδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής – Κέρδος από την Αναβολή της Επένδυσης .....	- 69 -
<b>Σχήμα 3.2.γ:</b> Συνολική Διείσδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής – Συνολικό Κέρδος από την Αναβολή της Επένδυσης .....	- 70 -
<b>Σχήμα 3.3.α:</b> Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος, Ιανουάριος .....	- 79 -
<b>Σχήμα 3.3.β:</b> Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος, Απρίλιος .....	- 80 -
<b>Σχήμα 3.3.γ:</b> Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος, Ιούλιος.....	- 80 -
<b>Σχήμα 3.3.δ:</b> Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος, Οκτώβριος .....	- 81 -
<b>Σχήμα 3.3.ε:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης, Ιανουάριος.....	- 82 -
<b>Σχήμα 3.3.στ:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης, Απρίλιος .....	- 82 -

<b>Σχήμα 3.3.ζ:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης, Ιούλιος ...-	
83 -	
<b>Σχήμα 3.3.η:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης, Οκτώβριος .....	- 83 -
<b>Σχήμα 3.3.θ:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος, Ιανουάριος .....	- 84 -
<b>Σχήμα 3.3.ι:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος, Απρίλιος .....	- 84 -
<b>Σχήμα 3.3.ια:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος, Ιούλιος .....	- 85 -
<b>Σχήμα 3.3.ιβ:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος, Οκτώβριος .....	- 85 -
<b>Σχήμα 3.3.ιγ:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Ιανουάριος 05:00...	- 86 -
<b>Σχήμα 3.3.ιδ:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Ιανουάριος 19:00...	- 86 -
<b>Σχήμα 3.3.ιε:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Απρίλιος 05:00 .....	- 87 -
<b>Σχήμα 3.3.ιστ:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Απρίλιος 19:00 .....	- 87 -
<b>Σχήμα 3.3.ιζ:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 05:00 .....	- 87 -
<b>Σχήμα 3.3.ιη:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 19:00.....	- 87 -
<b>Σχήμα 3.3.ιθ:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Οκτώβριος 05:00...	- 88 -
<b>Σχήμα 3.3.κ:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Οκτώβριος 19:00.....	- 88 -
<b>Σχήμα 3.4.α:</b> Χρόνος Αναβολής- Συντελεστής Ισχύος, Οκτώβριος 05:00 .....	- 90 -
<b>Σχήμα 3.4.β:</b> Χρόνος Αναβολής- Συντελεστής Ισχύος, Ιούλιος 19:00.....	- 91 -
<b>Σχήμα 4.1.α:</b> Δίκτυα Μέσης Τάσης.....	- 95 -
<b>Σχήμα 4.2.α:</b> Συνολική Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης .....	- 102 -
<b>Σχήμα 4.2.β:</b> Συνολική Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής- Κέρδος .....	- 102 -
<b>Σχήμα 4.3.β:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής .....	- 109 -
<b>Σχήμα 4.3.γ:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος .....	- 109 -
<b>Σχήμα 4.3.δ:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 05:00 .....	- 110 -
<b>Σχήμα 4.3.ε:</b> Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 19:00 .....	- 110 -
<b>Σχήμα 5.1.α:</b> Δίκτυο Υψηλής Τάσης .....	- 111 -
<b>Σχήμα 5.2.α:</b> Συνολική Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής- Χρόνος Αναβολής της Επένδυσης, Ιανουάριος 19:00 .....	- 120 -
<b>Σχήμα 5.2.β:</b> Διεσπαρμένη Παραγωγή- Κέρδος, Ιανουάριος 19:00 .....	- 120 -
<b>Σχήμα 5.2.γ:</b> Συνολικό Φορτίο- Κέρδος .....	- 121 -
<b>Σχήμα 5.3.β:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής .....	- 124 -
<b>Σχήμα 5.3.γ:</b> Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος .....	- 124 -

## ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

DG	Διεσπαρμένη Παραγωγή
M/Σ	Μετασχηματιστής
$I_k$	Ρεύμα που διαρρέει το ζυγό k
$P_{di}$	Φορτίο του ζυγού i
$\gamma_{ik}$	Ευαισθησία του ρεύματος του ζυγού k ως προς το φορτίο του ζυγού i
$\underline{x}$	Διάνυσμα Κατάστασης
$\underline{g}$	Εξισώσεις Ροής Φορτίου
$\frac{\partial I_k}{\partial P_{di}}$	Μερική Παράγωγος του ρεύματος του ζυγού k ως προς το φορτίο του ζυγού i
$\frac{\partial I_k}{\partial \underline{x}}$	Μερική Παράγωγος του ρεύματος του ζυγού k ως προς το διάνυσμα κατάστασης
$\frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{x}}$	Ιακωβιανή Μήτρα
$\frac{\partial \underline{g}}{\partial P_{di}}$	Μερική Παράγωγος εξισώσεων ροής φορτίου ως προς το φορτίο του ζυγού i
$\sigma_i$	Ρυθμός αύξησης του φορτίου του ζυγού i
$\rho$	Επιτόκιο Αναγωγής της αξίας της χρηματικής μονάδας στο σήμερα
$\tau_k$	Χρόνος αναβολής της επένδυσης αντικατάστασης σε νέο M/Σ
$B_k$	Κέρδος από την αναβολή της επένδυσης





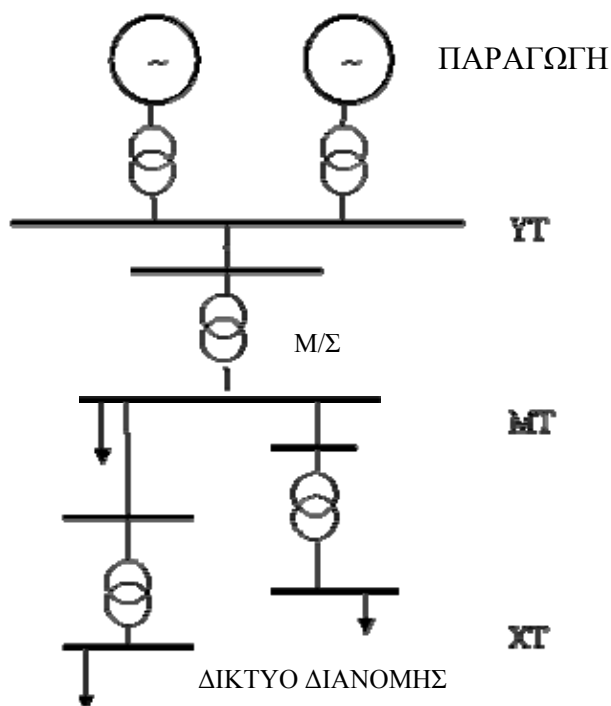
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

#### 1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ήταν κατά τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας τους τοπικά και τροφοδοτούσαν με ισχύ τα φορτία που βρίσκονταν σε κοντινή απόσταση. Τα συστήματα αυτά λειτουργούσαν το ένα ανεξάρτητα από το άλλο και αυτή τους η δομή ήταν ικανοποιητική.

Σύντομα όμως, παράλληλα και με την αύξηση του φορτίου, έγινε κατανοητό πως θα έπρεπε να δημιουργηθεί ένα ενοποιημένο ηλεκτρικό σύστημα που θα είναι πιο αποτελεσματικό, αξιόπιστο, αλλά και οικονομικότερο. Δημιουργήθηκε έτσι ένα σύστημα, όπου η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γινόταν σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου, από μεγάλες μονάδες παραγωγής, οι οποίες τροφοδοτούσαν τα φορτία με ενέργεια μέσω συστημάτων μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Με την επικράτηση επομένως αυτού του συστήματος, οι τοπικές μονάδες παραγωγής περιορίστηκαν και τελικά εξαφανίστηκαν εντελώς από τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η δομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πήρε τελικά τη μορφή που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1.



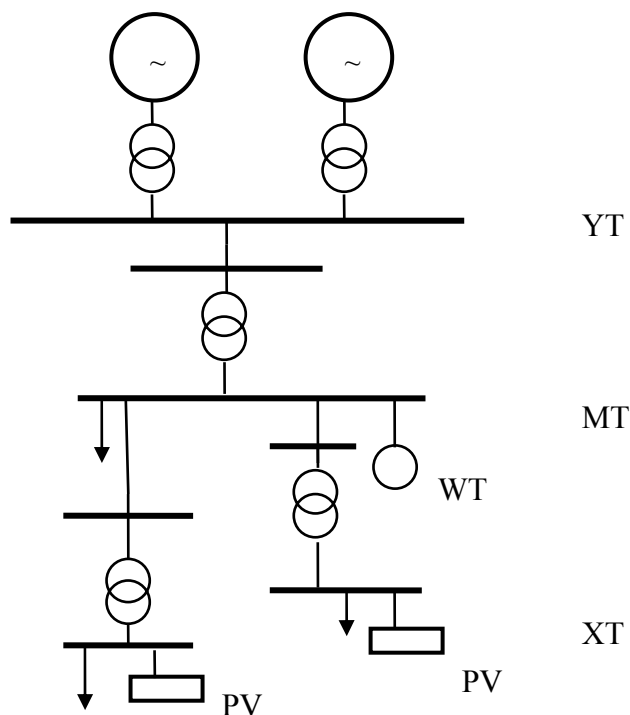
**Σχήμα 1.1.α:** Δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως φαίνεται από το σχήμα 1.1.α, οι σταθμοί παραγωγής παράγουν την ηλεκτρική ισχύ και αφού γίνει ανύψωση της τάσης, το ρεύμα μεταφέρεται υπό υψηλή τάση προς τις περιοχές κατανάλωσης του φορτίου. Στη συνέχεια έχουμε υποβιβασμό μέσω μετασχηματιστών σε μέση και χαμηλή τάση για να γίνει διανομή του φορτίου προς τους καταναλωτές.

Τα τελευταία χρόνια όμως, άρχισε να δημιουργείται και πάλι ενδιαφέρον για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορα σημεία του δικτύου, στο σύστημα διανομής. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία του όρου διεσπαρμένη παραγωγή, που είναι αυτό ακριβώς που περιγράφεται από τον όρο, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή από πολλές μονάδες, διεσπαρμένες στο σύστημα.

Οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι δεν είναι τοποθετημένες σε ένα συγκεκριμένο, κεντρικό, σημείο, αλλά βρίσκονται διασκορπισμένες στο σύστημα. Συνήθως τοποθετούνται στο δίκτυο διανομής, ενώ κατά κανόνα οι δυνατότητες παραγωγής τους είναι μικρότερες από 50- 100 MW [1].

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυτό διαμορφώνεται από την παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής φαίνεται στο σχήμα 1.1.β.



**Σχήμα 1.1.β:** Δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με διεσπαρμένη παραγωγή

Όπως φαίνεται από το σχήμα 1.1.β, στην παραγωγή συμμετέχουν πλέον δύο μονάδες με φωτοβολταϊκά και ένα αιολικό πάρκο.

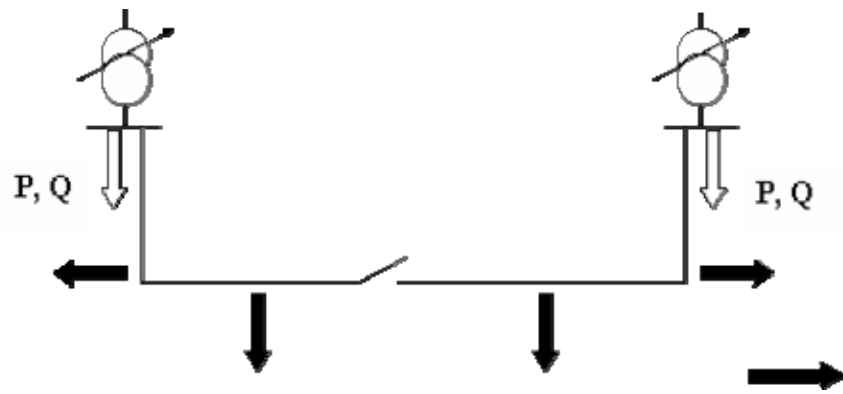
Η δομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας θα παρέμενε όπως η δομή του σχήματος 1.1.α, και δεν θα είχε αναπτυχθεί ενδιαφέρον για διεσπαρμένη παραγωγή αν δεν είχε προκύψει η ανάγκη για μείωση της χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας για περιβαλλοντικούς λόγους [2]. Η διεσπαρμένη παραγωγή μπορεί να πραγματοποιείται από φωτοβολταϊκά, αιολική ενέργεια, από συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, από μικρά υδροηλεκτρικά, από βιομάζα και άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ανάγκη για τη συμμετοχή τέτοιων εναλλακτικών, καθαρότερων μορφών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού οδήγησε στη διεσπαρμένη παραγωγή.

Κάθε τέτοια μονάδα, εξαιτίας της φύσης αυτών των μορφών ενέργειας, που δεν έχουν την πυκνότητα των ορυκτών καυσίμων, θα έχει μικρή σχετικά δυνατότητα παραγωγής [2], ενώ θα πρέπει να βρίσκεται σε συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο, όπου για παράδειγμα υπάρχει άνεμος, ήλιος, ή οτιδήποτε απαιτείται για την εκάστοτε μορφή

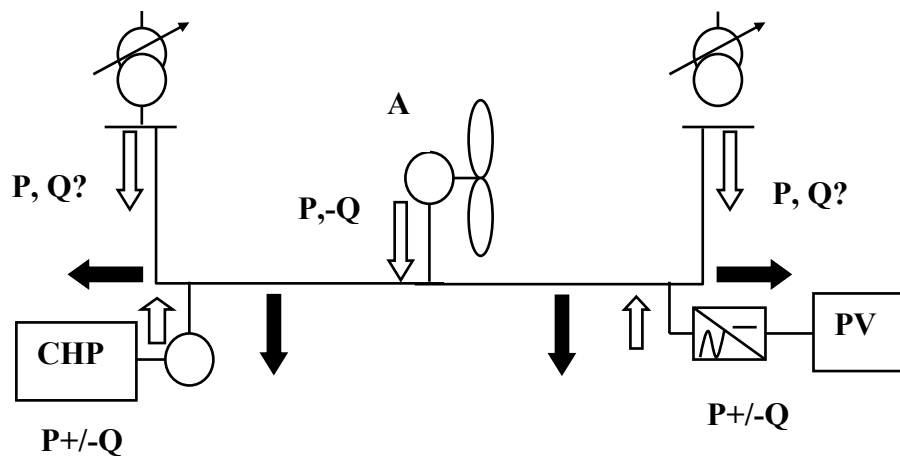
ενέργειας. Επομένως, οι μονάδες αυτές θα βρίσκονται διασκορπισμένες μέσα στο δίκτυο με μικρές δυνατότητες παραγωγής η κάθε μία.

Όπως εξηγήθηκε και προηγουμένως, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει κεντρική παραγωγή που τροφοδοτεί με ισχύ τους καταναλωτές. Έτσι, η ροή της ισχύος γινόταν από την υψηλή προς τη χαμηλή τάση.

Με τη διείσδυση όμως της διεσπαρμένης παραγωγής στη διαδικασία παραγωγής, η ροή της ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να αντιστραφεί, αν η διείσδυση αυτή είναι αρκετά σημαντική. Μπορεί πλέον σε κάποιες περιπτώσεις να έχουμε αντίστροφη πορεία του ρεύματος, αν υπερκαλύπτεται το φορτίο ενός ζυγού και των φορτίων στα κατάντη αυτού από την παραγωγή της διεσπαρμένης μονάδας που βρίσκεται στο ζυγό αυτό. Έτσι, οι τάσεις και οι ροές ισχύος μεταβάλλονται και καθορίζονται πλέον από τις μονάδες παραγωγής που υπάρχουν διεσπαρμένες στο δίκτυο και τα φορτία. Ο συντελεστής ισχύος με τον οποίο μπορεί να λειτουργήσουν οι μονάδες αυτές μεταβάλλει τις τάσεις στο δίκτυο, ενώ μπορεί να υπάρξουν και αρμονικές συνιστώσες στο ρεύμα από την παρουσία ηλεκτρονικών ισχύος [2]. Αυτές οι μεταβολές έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά του δικτύου. Η μεταβολή της ροής της ισχύος εξαιτίας της παρουσίας μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να φανεί στα σχήματα 1.1.γ και 1.1.δ:



Σχήμα 1.1.γ: Συμβατικό σύστημα διανομής [2]



Σχήμα 1.1.δ: Σύστημα διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή [2]

### 1.1.α. Πλεονεκτήματα, Μειονεκτήματα της Διεσπαρμένης Παραγωγής

Την τελευταία δεκαετία αυξάνεται συνεχώς η τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Όλο και περισσότερο υπάρχει ενδιαφέρον για να εκτιμηθούν τα οφέλη της διεσπαρμένης παραγωγής από διάφορους παράγοντες.

Το κυριότερο όφελος από τη χρήση διεσπαρμένης παραγωγής είναι περιβαλλοντικό [1]. Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας παράγουν μηδενικούς, ή ελάχιστους ρύπους βοηθώντας έτσι στη μείωση των εκπομπών βλαβερών για την ατμόσφαιρα αερίων, όπως είναι κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα. Χρησιμοποιώντας τέτοιες μορφές ενέργειας δίνεται η δυνατότητα σε χώρες που έχουν αναλάβει υποχρεώσεις για

μείωση των εκπομπών ρύπων, να εκπληρώσουν τις υποχρεώσεις αυτές. Παράλληλα, περιορίζεται η χρήση καυσίμων που υπάρχουν σε πεπερασμένες ποσότητες, όπως είναι το πετρέλαιο, και που αν συνεχιστεί η κατανάλωσή του με τον ίδιο ρυθμό, τα αποθέματα θα τελειώσουν σε μερικά χρόνια [3].

Η συμμετοχή στην παραγωγή διαφορετικών μορφών ενέργειας σε διάφορα σημεία του δικτύου έχει το πλεονέκτημα ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού δεν εξαρτάται πλέον αποκλειστικά από συγκεκριμένες συμβατικές πηγές, αλλά στηρίζεται σε πολλές διαφορετικές πηγές [1], υπάρχει δηλαδή κατά κάποιο τρόπο μια ασφάλεια τέτοια ώστε αν για κάποια αιτία, που μπορεί να είναι οικονομική ή και πολιτική, εκλείψει μια μορφή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη. Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα για απελευθέρωση της αγοράς και τη συμμετοχή ιδιωτών στην παραγωγή. Τα τελευταία χρόνια, οι κυβερνήσεις έχουν αρχίσει να δίνουν κίνητρα σε ιδιώτες για την τοποθέτηση εγκαταστάσεων παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [4]. Έτσι, μέρος της ζήτησης μπορεί πλέον να καλύπτεται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Η παρουσία των μονάδων διεσπαρμένης αλλάζει τη φυσιογνωμία όλου του δικτύου ως προς τις τάσεις και τις ροές ισχύος, όπως εξηγήθηκε και παραπάνω. Το γεγονός αυτό μπορεί να προσφέρει στο δίκτυο τεχνικά οφέλη.

**Ένα από τα σημαντικότερα τεχνικά οφέλη που προκύπτουν από την διεσπαρμένη παραγωγή είναι η μείωση των απωλειών του συστήματος [2].** Αφού μέρος της ισχύος θα καλύπτεται από τις διεσπαρμένες στο δίκτυο μονάδες, δε θα χρειάζεται τόσο μεγάλη ποσότητα ισχύος να παράγεται από τις κεντρικές μονάδες και να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, πράγμα το οποίο θα εισήγαγε μεγάλες απώλειες ισχύος στο σύστημα.

Η παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αυξάνει γενικά την τάση στην περιοχή όπου εγκαθίσταται. Έτσι, σε περιοχές όπου υπάρχει πρόβλημα με το επίπεδο της τάσης, μπορεί να συνεισφέρει θετικά [4].

Αν ο σχεδιασμός της μονάδας γίνει σωστά, μπορούν να υπάρξουν οφέλη ως προς την ποιότητα ισχύος που φθάνει στους καταναλωτές, αλλά και της αξιοπιστίας [4].

Πολλές φορές όμως η παρουσία μονάδων παραγωγής έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα ισχύος [2].

Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη, που είναι τα σημαντικότερα που αποκομίζουμε από τη διεσπαρμένη παραγωγή και ορισμένα τεχνικά, υπάρχουν και σημαντικά οικονομικά οφέλη που προκύπτουν.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η παρουσία διεσπαρμένης παραγωγής προκαλεί μείωση των απωλειών του δικτύου, πράγμα που έχει τελικά οικονομικό αντίκτυπο όπως είναι φανερό, αφού απαιτείται μικρότερη παραγωγή από τις κεντρικές μονάδες και έτσι έχουμε μείωση των απωλειών στη μεταφορά.

Η λειτουργία πολλών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, μπορεί υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις να οδηγήσει σε μείωση της τιμής του ρεύματος που πληρώνει ο καταναλωτής [4].

Ένα οικονομικό όφελος τέλος που μπορούμε να αποκομίσουμε από την τοποθέτηση διεσπαρμένης παραγωγής προκύπτει από τη δυνατότητα που δίνεται για αναβολή σε επενδύσεις του δικτύου [4], [5]. Συγκεκριμένα, το όφελος αυτό που αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης αυτής της διπλωματικής εργασίας, προκύπτει από την εξής διαδικασία: Η τοποθέτηση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής θα έχει ως συνέπεια τη μείωση του ρεύματος σε κάποιο άλλο σημείο του δικτύου προς την μεριά της παραγωγής, και λαμβάνοντας υπόψη την αυξητική τάση του φορτίου, το ρεύμα θα επιστρέψει στην τιμή αυτή μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να αναβληθεί η επένδυση σε κάποιο μετασχηματιστή ή στην αναβάθμιση καλωδίων μεταφοράς που βρίσκονται κοντά στο όριο τους, ως προς τη δυνατότητα μεταφοράς μεγαλύτερης ποσότητας ρεύματος. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

Η διεσπαρμένη παραγωγή όμως έχει και ορισμένα μειονεκτήματα, που αφορούν οικονομικά, τεχνικά ακόμα και περιβαλλοντικά θέματα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν έχει φθάσει σε επίπεδο να μπορεί να ανταγωνιστεί οικονομικά τις μεγάλες μονάδες

παραγωγής, με αποτέλεσμα να απαιτείται επιχορήγηση από το κράτος για να μπορεί η επένδυση σε αυτές να είναι βιώσιμη.

Η σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο διανομής μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ποιότητα ισχύος του δικτύου. Συγκεκριμένα, μπορούν να προκληθούν μεταβολές και διακυμάνσεις στην τάση του δικτύου εξαιτίας της μονάδας παραγωγής αλλά και γρήγορες μεταβολές της τάσης που έχουν ως συνέπεια τη διακύμανση της φωτεινότητας των λαμπτήρων πυρακτώσεως και την οπτική ενόχληση από αυτή (flicker). Μπορεί να υπάρξει επίσης και αρμονική παραμόρφωση στο δίκτυο εξαιτίας αυτών των εγκαταστάσεων παραγωγής. Για να μην υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις από τα παραπάνω, έχουν θεσπιστεί ορισμένοι κανόνες και όρια στις διακυμάνσεις της τάσης και την αρμονική παραμόρφωση που πρέπει να τηρούνται ώστε να δίνεται η δυνατότητα στις μονάδες να συνδέονται στο δίκτυο [6].

Πολλές φορές δεν μπορεί να υπάρξει ακριβής πρόβλεψη για την ικανότητα παραγωγής συγκεκριμένων εγκαταστάσεων παραγωγής, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τα αιολικά πάρκα. Πρέπει να γίνεται μετεωρολογική πρόβλεψη, που δεν μπορεί όμως να προβλέψει ακριβώς την ποσότητα ισχύος που θα είναι δυνατό να παραχθεί [2]. Σε μικρά χρονικά διαστήματα μπορούν να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στη δυνατότητα παραγωγής ή ακόμα και απώλεια της παραγωγής εξαιτίας της φύσης ορισμένων πηγών όπως είναι για παράδειγμα ο άνεμος. Έτσι υπάρχει συγκεκριμένο ποσοστό της ζήτησης που μπορεί να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές, η διείσδυση είναι δηλαδή περιορισμένη και πρέπει να υπάρχει πάντα εφεδρεία συμβατικών μονάδων παραγωγής [7]. Αυτό το πρόβλημα αφορά κυρίως τα αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, περιβαλλοντικά ζητήματα μπορούν να προκύψουν, όπως μπορεί να είναι για παράδειγμα η παραγωγή θορύβου αλλά και αισθητικά ζητήματα από την παρουσία των μονάδων σε συγκεκριμένες τοποθεσίες [4].

Πολλές φορές μπορούν να υπάρξουν προβλήματα σε σχέση με τοπικούς παράγοντες, από τους οποίους μπορεί να εμφανιστούν αντιδράσεις που θα δυσχεράνουν, θα καθυστερήσουν ή ακόμα και θα ματαιώσουν την τοποθέτηση εγκαταστάσεων παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε συγκεκριμένες τοποθεσίες.



## 1.1.β. Διείδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής

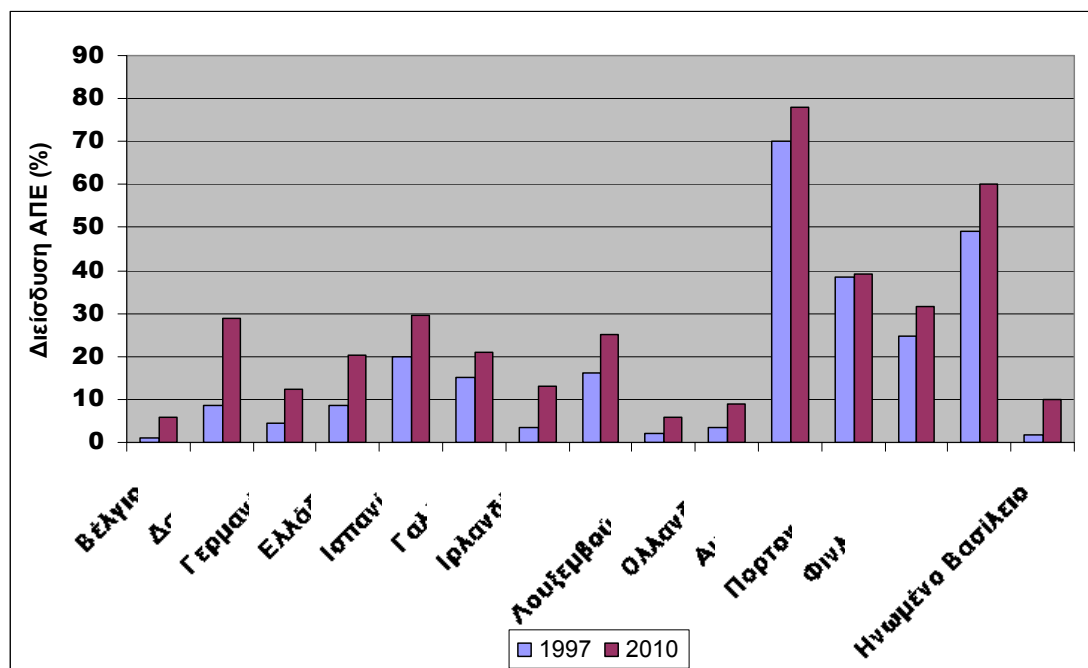
Η εγκατάσταση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αυξάνεται έντονα τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας κυρίως των περιβαλλοντικών οφελών που προσφέρει. Όλο και μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές. Στον πίνακα 1.1.α μπορούμε να δούμε το ποσοστό της διείδυσης των ανανεώσιμων πηγών σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης για το 1997 και τη σύγκρισή του με το στόχο που έχει τεθεί για τον 2010.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1.α**

**Παραγωγή από ΑΠΕ το 1997 και στόχοι για το 2010 για χώρες της Ε.Ε. [8]**

	Παραγωγή από ΑΠΕ το 1997 (% επί του συνόλου της παραγωγής)	Παραγωγή από ΑΠΕ το 2010 (% επί του συνόλου της παραγωγής)
Βέλγιο	1.10	6.00
Δανία	8.70	29.0
Γερμανία	4.50	12.5
Ελλάδα	8.60	20.1
Ισπανία	19.9	29.4
Γαλλία	15.0	21.0
Ιρλανδία	3.60	13.2
Ιταλία	16.0	25.0
Λουξεμβούργο	2.10	5.70
Ολλανδία	3.50	9.00
Αυστρία	70.0	78.1
Πορτογαλία	38.5	39.0
Φινλανδία	24.7	31.5
Σουηδία	49.1	60.0
Ηνωμένο Βασίλειο	1.70	10.0

Τα αποτελέσματα δίνονται και εποπτικά στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 1.1.ε: Παραγωγή από ΑΠΕ το 1997 και στόχοι για το 2010 για χώρες της Ε.Ε. [8]

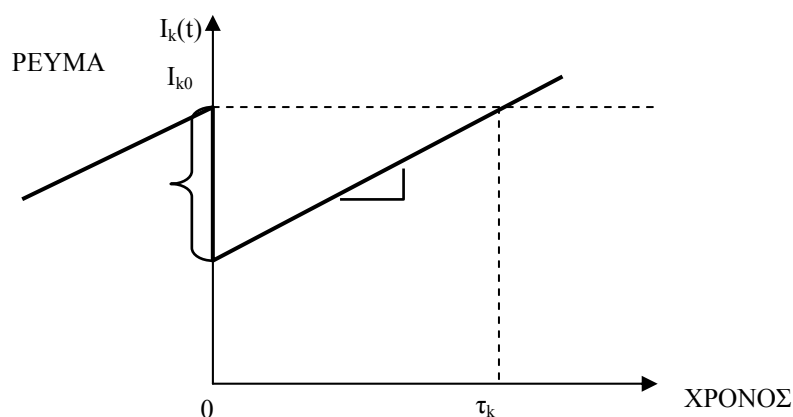
Όπως φαίνεται από τα δεδομένα του πίνακα 1.1.α αλλά και το σχήμα 1.1.ε η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς. Μέχρι το 2010, η διεσπαρμένη παραγωγή θα αποτελεί το 8% ως 20% της δυνατότητας παραγωγής ισχύος στην Ευρώπη [8]. Έτσι, έχει αναπτυχθεί έντονο ενδιαφέρον για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών της και των αλλαγών που επιφέρει στο δίκτυο.

## 1.2. ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Οι επιχειρήσεις διανομής ηλεκτρικής ενέργειας παραδοσιακά ακολουθούσαν την αύξηση του φορτίου με την επένδυση σε μεγαλύτερους μετασχηματιστές και καλώδια όταν αυτά έφταναν στο όριο λειτουργίας τους από την άποψη της ποσότητας φορτίου που μπορούσαν να μεταφέρουν. Το κόστος όμως μιας τέτοιας κίνησης μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα, ειδικά στα κέντρα των μεγάλων πόλεων. Επομένως με την εγκατάσταση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής σε συγκεκριμένο σημείο του δικτύου, η αναβάθμιση συγκεκριμένων ακριβών στοιχείων του μπορεί να αναβληθεί για ένα χρονικό διάστημα, εξοικονομώντας χρήματα για τους εμπλεκόμενους φορείς [4].

Όταν τοποθετηθεί μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο διανομής, σε περιοχή κοντά στην κατανάλωση φορτίου, το ρεύμα που διαρρέει τους ζυγούς που βρίσκονται υψηλότερα στο δίκτυο και που κανονικά τροφοδοτούν με ισχύ την περιοχή της κατανάλωσης, θα μειωθεί αφού μέρος της απαιτούμενης ισχύος θα καλύπτεται πλέον από τη μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής. Το μέγεθος της μείωσης αυτής θα εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής και τη θέση της μονάδας μέσα στο δίκτυο [4].

Αν υποθέσουμε ότι το φορτίο αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, μετά την τοποθέτηση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής και τη μείωση του ρεύματος, θα περάσει ένα χρονικό διάστημα μέχρι το ρεύμα να ξαναπάρει, εξαιτίας της αύξησης του φορτίου, την τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας. Έτσι, θα αναβληθεί κατά αυτό το χρονικό διάστημα η ανάγκη αντικατάστασης ενός μετασχηματιστή ή κάποιου άλλου στοιχείου του δικτύου, σε σχέση με το χρόνο που επρόκειτο να συμβεί κανονικά. Εξαρτάται δηλαδή επιπλέον ο χρόνος αναβολής της επένδυσης, εκτός από το μέγεθος και τη θέση της μονάδας παραγωγής μέσα στο δίκτυο, και από το ρυθμό αύξησης του φορτίου [4]. Στο σχήμα 1.2.α φαίνεται αυτή η διαδικασία:



**Σχήμα 1.2.α:** Χρόνος Αναβολής Επένδυσης σε ΣΗΕ με διεσπαρμένη παραγωγή [4]

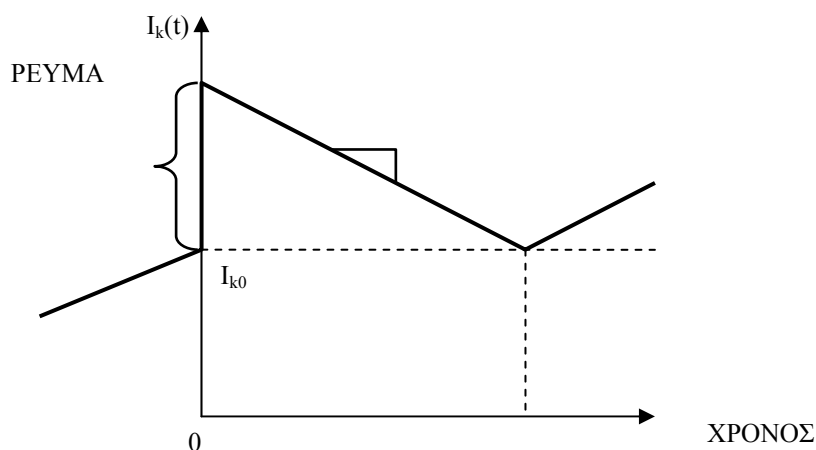
Όπως φαίνεται, στο χρόνο 0 τίθεται σε λειτουργία η μονάδα παραγωγής με αποτέλεσμα να μειωθεί το ρεύμα που διαρρέει το ζυγό  $k$ , όπου μπορεί να βρίσκεται για παράδειγμα ένας μετασχηματιστής που πρόκειται να αντικατασταθεί σύντομα. Θα περάσει επομένως ένα χρονικό διάστημα  $\tau_k$  μέχρι να φτάσει και πάλι το ρεύμα στην τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας και αυτός θα είναι ο χρόνος

αναβολής της αντικατάστασης του μετασχηματιστή. Από την αναβολή αυτή είναι που προκύπτει ένα χρηματικό κέρδος.

Το τελικό όφελος που θα έχουμε από την αναβολή της επένδυσης σχετίζεται επίσης με το κόστος της επένδυσης αλλά και το επιτόκιο με το οποίο θα αλλάζει η αξία του χρήματος με την πάροδο του χρόνου.

Όπως έχει εξηγηθεί μέχρι τώρα, η τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής θα έχει ως αποτέλεσμα μείωση του ρεύματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως μπορεί να έχουμε και αύξηση του ρεύματος σε κοντινούς προς τη μονάδα ζυγούς, ακόμα και πάνω από το αποδεκτό όριο [4]. Αυτό θα συμβεί αν η ισχύς της μονάδας είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα του φορτίου του συγκεκριμένου ζυγού και των περιθωρίων των καλωδίων για μεταφορά περισσότερου ρεύματος.

Η περίπτωση αυτή φαίνεται στο σχήμα 1.2.β:



**Σχήμα 1.2.β:** Το ρεύμα αυξάνεται στο ζυγό εξαιτίας της μονάδας παραγωγής [4]

Όπως φαίνεται, σε αυτή την περίπτωση η μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής θα έχει τόσο μεγάλη ισχύ που το ρεύμα θα αντιστραφεί και επιπλέον θα ξεπεράσει το όριο ανοχής σε μεταφορά ρεύματος του ζυγού. Εξαιτίας της αύξησης του φορτίου με το χρόνο θα επανέλθει μετά από κάποιο διάστημα στην τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας. Επειδή όμως δεν είναι δυνατόν να διαρρέεται ο ζυγός με ρεύμα μεγαλύτερο από το επιτρεπτό, θα πρέπει είτε να μειωθεί η παραγωγή της μονάδας μέχρι το φορτίο να αυξηθεί αρκετά, είτε να γίνει επένδυση σε νέα καλώδια. Σε αυτή την περίπτωση θα είχαμε επομένως επιπλέον κόστος από την τοποθέτηση της

μονάδας αντί να έχουμε το κέρδος της αναβολής. Αυτή η περίπτωση όμως είναι πιο σπάνια. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία εξετάζεται μόνο η περίπτωση που έχουμε μείωση του ρεύματος εξαιτίας διεσπαρμένης παραγωγής.

Όταν κάποιος μετασχηματιστής ή κάποιο καλώδιο πλησιάζει στα όρια λειτουργίας του, γίνεται ο σχεδιασμός για την αντικατάστασή του. Πολλές φορές είναι οικονομικά συμφέρον, όταν ένα στοιχείο του δικτύου φτάσει στο όριό του ως προς την ικανότητα μεταφοράς ρεύματος, να μην αντικατασταθεί μόνο αυτό το στοιχείο, αλλά μια ολόκληρη ομάδα στην οποία ανήκει το παραπάνω στοιχείο [4]. Έτσι με την εγκατάσταση μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής θα έχουμε μείωση των ρευμάτων για όλα τα στοιχεία της ομάδας, αλλά η αναβάθμισή τους θα γίνει τη στιγμή που το πρώτο στοιχείο φτάσει στο όριο μεταφοράς ισχύος.

Ο χρόνος αναβολής εξαρτάται από τον συντελεστή ισχύος με τον οποίο λειτουργεί η μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής. Γενικά, η λειτουργία με χωρητικό συντελεστή ισχύος παρέχει περισσότερα οφέλη από ότι η λειτουργία με επαγωγικό συντελεστή ισχύος [4].

Για την εκτίμηση του οφέλους από την αναβολή της επένδυσης σε μεγαλύτερους μετασχηματιστές και καλώδια θα πρέπει να μετρηθεί η επίδραση της τοποθέτησης μιας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο. Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστεί πώς επιδρά η αύξηση του φορτίου κάθε ζυγού του συστήματος στο ρεύμα του ζυγού ως προς τον οποίο ψάχνουμε την μεταβολή εξαιτίας της τοποθέτησης μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής. Θέλουμε δηλαδή να υπολογίσουμε την ποσότητα:

$$\gamma_{ik} = \frac{\partial I_k}{\partial P_{di}} \quad (1.1)$$

που εκφράζει την ευαισθησία του ρεύματος ενός ζυγού  $k$  ως προς μια αύξηση του φορτίου σε ένα ζυγό  $i$ . Υπολογίζοντας την παραπάνω ποσότητα θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε τη μεταβολή του ρεύματος στο ζυγό  $k$  από τις μεταβολές του φορτίου που θα συμβούν στους άλλους ζυγούς του συστήματος.

Ο υπολογισμός της σχέσης 1.1 μπορεί να γίνει εμπειρικά. Συγκεκριμένα, πρώτα γίνεται ένας υπολογισμός της τιμής του ρεύματος στο ζυγό  $k$  για μια δεδομένη

φόρτιση του ζυγού  $i$ . Στη συνέχεια, αυξάνεται το φορτίο κατά ένα ποσοστό μεταξύ του 0.1% και του 1% και γίνεται και πάλι υπολογισμός του ρεύματος [4]. Έτσι η ευαισθησία θα δίνεται από τη σχέση (1.2):

$$\gamma_{ik} = \frac{I_{k,TEA} - I_k}{P_{di,TEA} - P_{di}} \quad (1.2)$$

Η ευαισθησία του ρεύματος ως προς το φορτίο μπορεί όμως να υπολογιστεί και αναλυτικά με χρήση της Ιακωβιανής μήτρας της μεθόδου Newton- Raphson της ανάλυσης ροής φορτίου. Στη διπλωματική αυτή εργασία υπολογίζεται η συνάρτηση που δίνει την ευαισθησία μέσω της μεθόδου αυτής και όλοι οι περαιτέρω υπολογισμοί γίνονται με χρήση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτή.

Αφού έχουμε υπολογίσει την ευαισθησία του ρεύματος, μπορούμε πλέον, γνωρίζοντας ορισμένες άλλες παραμέτρους, όπως το ρυθμό αύξησης του φορτίου να υπολογίσουμε το χρόνο αναβολής της επένδυσης και το κέρδος από την αναβολή αυτή.

Έτσι για τον υπολογισμό των οφελών που θα αποκομίσουμε από την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ως προς την αναβολή των επενδύσεων σε μετασχηματιστές και άλλα στοιχεία του δικτύου, θα πρέπει να ακολουθήσουμε την παρακάτω διαδικασία:

- Υπολογισμός του ρεύματος στο ζυγό που μας ενδιαφέρει μέσω των διαδικασιών της ροής φορτίου [9], [10], [11] πριν την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής.
- Υπολογισμός της ευαισθησίας [9], [12] του ρεύματος αυτού ως προς την αύξηση του φορτίου στους υπόλοιπους ζυγούς του συστήματος.
- Υπολογισμός του ρεύματος στο ζυγό που μας ενδιαφέρει μέσω των διαδικασιών της ροής φορτίου μετά την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής.
- Υπολογισμός του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους από την αναβολή αυτή.

Οι παραπάνω διαδικασίες περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

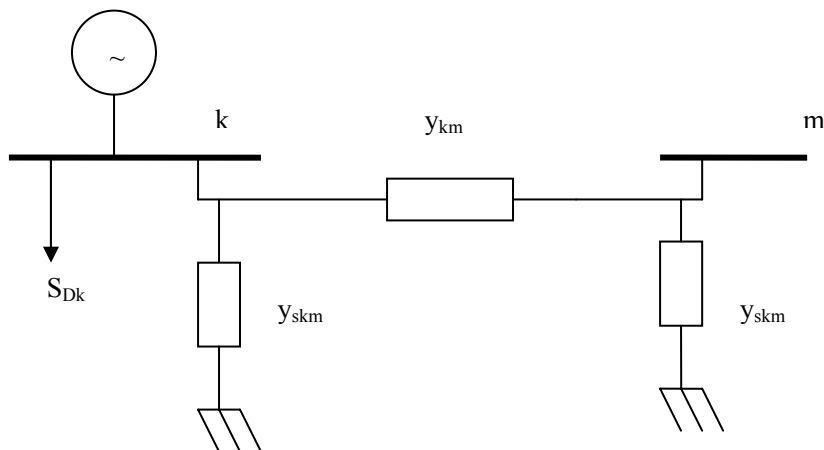
### ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΕΝ ΕΝΑ ΣΗΕ ΛΟΓΩ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

#### 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του χρόνου αναβολής και του κέρδους από την αναβολή της επένδυσης σε μετασχηματιστές του δικτύου. Αρχικά, παρουσιάζεται η μελέτη ροής φορτίου και η μέθοδος Newton- Raphson [9], [10], [11], που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μιγαδικής τάσης, της ισχύος και τελικά του ρεύματος σε όλους τους ζυγούς του δικτύου. Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση της ανάλυσης ευαισθησίας [9], [12] και εξειδίκευση στη διαδικασία εύρεσης της ευαισθησίας του ρεύματος ως προς το φορτίο ενός ζυγού. Για την καλύτερη επεξήγηση της διαδικασίας υπολογισμού της ευαισθησίας του ρεύματος παρουσιάζεται και ένα παράδειγμα σε ένα απλό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάλυση ροής φορτίου με τη μέθοδο Newton- Raphson και ο υπολογισμός της ευαισθησίας του ρεύματος ενός ζυγού ως προς όλους τους ζυγούς του δικτύου υλοποιήθηκε με το πρόγραμμα Matlab. Τέλος, μετά τον υπολογισμό της ευαισθησίας του ρεύματος του προς μελέτη ζυγού ως προς το φορτίο των υπολοίπων ζυγών, περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους από την αναβολή αυτή.

#### 2.2. ΜΕΛΕΤΗ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Έστω το παρακάτω Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας:



**Σχήμα 2.2.α:** Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Το  $m$  είναι το σύνολο των ζυγών που είναι συνδεδεμένοι με τον ζυγό  $k$ . Η γραμμή μεταξύ των ζυγών  $k$  και  $m$  παριστάνεται από το ισοδύναμο κύκλωμα  $\Pi$  όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα.

Το ρεύμα μεταξύ του ζυγού  $k$  και του ζυγού  $m$  είναι:

$$\tilde{I}_{km} = (y_{skm} + y_{km}) \cdot \tilde{V}_k - y_{km} \cdot \tilde{V}_m \quad (2.1)$$

Σύμφωνα με το νόμο ρευμάτων του Kirchhoff θα έχουμε:

$$\tilde{I}_{Gk} - \tilde{I}_{Dk} = \sum_{m \in a(k)} \tilde{I}_{km} \quad (2.2)$$

όπου  $a(k)$  είναι το σύνολο των ζυγών που συνδέονται με το ζυγό  $k$ . Επομένως θα έχουμε τελικά:

$$\tilde{I}_{Gk} - \tilde{I}_{Dk} = \tilde{V}_k \cdot \sum_{m \in a(k)} (y_{skm} + y_{km}) - \sum_{m \in a(k)} y_{km} \cdot \tilde{V}_m \quad (2.3)$$

Αν θέσουμε



$$\tilde{I}_{Dk} = \frac{\tilde{S}_{Dk}^*}{\tilde{V}_k^*} \quad \text{και} \quad \tilde{I}_{Gk} = \frac{\tilde{S}_{Gk}^*}{\tilde{V}_k^*} \quad (2.4)$$

θα έχουμε:

$$\tilde{S}_{Gk} - \tilde{S}_{Dk} = \left| \tilde{V}_k \right|^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (y_{skm}^* + y_{km}^*) - \tilde{V}_k \cdot \sum_{m \in a(k)} y_{km}^* \cdot V_m^* \quad (2.5)$$

Επιλέγοντας να παρουσιάσουμε τις εξισώσεις ροής φορτίου σε υβριδική μορφή θα θέσουμε:

$$\tilde{V} = V \cdot e^{j\delta} \quad (2.6)$$

$$y = g + jb \quad (2.7)$$

Αντικαθιστώντας στην προηγούμενη εξίσωση θα πάρουμε:

$$\tilde{S}_{Gk} - \tilde{S}_{Dk} = V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{skm} + g_{km} - j(b_{skm} + b_{km})) - V_k \cdot (\cos \delta_k + j \sin \delta_k) \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{km} - jb_{km}) \cdot V_m (\cos \delta_m - j \sin \delta_m) \quad (2.8)$$

Κάνοντας τις απαραίτητες πράξεις και χωρίζοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη θα πάρουμε:

$$P_{Gk} - P_{Dk} = V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{skm} + g_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m)] \quad (2.9)$$

$$Q_{Gk} - Q_{Dk} = -V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (b_{skm} + b_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m)] \quad (2.10)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις αποτελούν τις εξισώσεις ροής φορτίου. Κάθε ζυγός ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από ένα τέτοιο ζεύγος εξισώσεων. Έτσι, για παράδειγμα, για ένα σύστημα με  $n$  ζυγούς θα υπάρχουν  $2n$  εξισώσεις που θα χαρακτηρίζουν τη λειτουργία του.

Οι διάφοροι ζυγοί του συστήματος ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τα μεγέθη (Ενεργός Ισχύς, Άεργος Ισχύς, Μέτρο Τάσης, Γωνία Τάσης) που θεωρούνται γνωστά σε κάθε περίπτωση. Έτσι, έχουμε:

**Ζυγός Ταλάντωσης:** Θεωρούμε γνωστή την τάση κατά μέτρο και γωνία ενώ υπολογίζονται η ενεργός και άεργος ισχύς. Ουσιαστικά η παραγωγή ισχύος του ζυγού ταλάντωσης καλύπτει τις απώλειες ισχύος του συστήματος ώστε να έχουμε ισοζύγιο ισχύος μεταξύ παραγωγής, κατανάλωσης και απωλειών.

**Ζυγός Παραγωγής:** Θεωρούμε γνωστό το μέτρο της τάσης και την έγχυση πραγματικής ισχύος, ενώ υπολογίζουμε τη γωνία της τάσης και την άεργο ισχύ.

**Ζυγός Φορτίου:** Θεωρούμε γνωστά την ενεργό και την άεργο ισχύ και υπολογίζουμε την τάση κατά μέτρο και γωνία.

Θεωρούμε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με  $n$  ζυγούς. Θεωρούμε ως ζυγό 1 τον ζυγό ταλάντωσης για τον οποίο γνωρίζουμε την τάση κατά μέτρο και γωνία. Οι ζυγοί από 2 ως  $n-m$  είναι ζυγοί παραγωγής και υπόλοιποι ζυγοί φορτίου. Για να περιγραφεί το σύστημα σε υβριδική μορφή όπως έχουμε επιλέξει θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές οι γωνίες της τάσης για όλους τους ζυγούς εκτός από το ζυγό ταλάντωσης και το μέτρο της τάσης για τους ζυγούς φορτίου. Έτσι το διάνυσμα κατάστασης  $x$  θα είναι:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ \vdots \\ \delta_n \\ V_{n-m+1} \\ V_{n-m+2} \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Θα έχουμε επομένως  $n-1$  εξισώσεις έγχυσης πραγματικής ισχύος, της μορφής 2.9, και  $m$  εξισώσεις έγχυσης άεργου ισχύος της μορφής 2.10. Πρέπει επομένως να επιλύσουμε το σύστημα αυτό των εξισώσεων για να βρούμε τις ισχύεις και τις τάσεις σε όλους τους ζυγούς.

Υπάρχουν διάφορες αριθμητικές μέθοδοι για την επίλυση των παραπάνω εξισώσεων. Επιλέχθηκε η επίλυση να γίνει με τη μέθοδο Newton- Raphson.

### 2.3. ΜΕΘΟΔΟΣ NEWTON- RAPHSON

Έστω το παρακάτω σύστημα εξισώσεων προς επίλυση:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y_n &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Έστω μια αρχική λύση του συστήματος:

$$x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$$

Γραμμικοποιώντας τις εξισώσεις 2.12 γύρω από τον αρχική λύση του συστήματος θα πάρουμε:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \\ f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \\ \vdots \\ f_n(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 - x_1^{(0)} \\ x_2 - x_2^{(0)} \\ \vdots \\ x_n - x_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Η μήτρα με τις μερικές παραγώγους ονομάζεται Ιακωβιανή. Έτσι μπορούμε να εκφράσουμε την προηγούμενη εξίσωση στη μορφή:

$$\underline{y} = f(\underline{x}(0)) + J(0) \cdot (\underline{x} - \underline{x}(0)) \quad (2.14)$$

Επομένως,

$$\underline{x} = \underline{x}(0) + J(0)^{-1} \cdot (\underline{y} - f(\underline{x}(0))) \quad (2.15)$$

Μπορούμε έτσι να βρούμε μια νέα λύση έχοντας μια αρχική και ύστερα από ορισμένο αριθμό ανακυκλώσεων να βρούμε μια ικανοποιητικά ακριβή λύση.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω μέθοδο για το πρόβλημα ροής φορτίου μπορούμε να επιλύσουμε τις εξισώσεις (2.9) και (2.10). Αν θέσουμε:

$$f_{Pk} = V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{skm} + g_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m)] \quad (2.16)$$

$$f_{Qk} = -V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (b_{skm} + b_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m)] \quad (2.17)$$

μπορούμε να βρούμε τον επαναληπτικό αλγόριθμο που θα μας οδηγήσει στη λύση:

$$\begin{bmatrix} \underline{\delta} \\ \underline{V} \end{bmatrix}^{n+1} = \begin{bmatrix} \underline{\delta} \\ \underline{V} \end{bmatrix}^n + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_P}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_P}{\partial \underline{V}} \\ \frac{\partial f_Q}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_Q}{\partial \underline{V}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \underline{P}_G - \underline{P}_D - f_P \\ \underline{Q}_G - \underline{Q}_D - f_Q \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Αφού ολοκληρώσουμε τις επαναλήψεις με βάση τις εξισώσεις ροής φορτίου και τον παραπάνω επαναληπτικό αλγόριθμο θα γνωρίζουμε τις γωνίες και το μέτρο για την τάση σε όλους τους ζυγούς του συστήματος. Μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε και την άεργο ισχύ για τους ζυγούς παραγωγής από τις σχέσεις 2.10, όπως και την ενεργό και άεργο ισχύ του ζυγού ταλάντωσης ώστε να γνωρίζουμε τελικά την τάση κατά μέτρο και γωνία και την ενεργό και άεργο ισχύ σε όλους τους ζυγούς.

## 2.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Έστω μια γραμμική συνάρτηση  $\phi(\underline{x}, \underline{u})$ , όπου η μεταβλητή  $\underline{x}$  είναι:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ \vdots \\ \delta_n \\ V_{n-m+1} \\ V_{n-m+2} \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

και η μεταβλητή  $\mathbf{u}$  είναι ένα διάνυσμα που μπορεί να εκφράζει τάση γεννητριών, την ενεργό ή άεργο ισχύ που παράγει ή απορροφά κάποιος ζυγός, γωνίες μετασχηματιστών και άλλα μεγέθη.

Όπως είναι γνωστό για μια συνάρτηση δύο μεταβλητών το διαφορικό αυτής της συνάρτησης εκφράζεται από τη σχέση:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy \quad (2.20)$$

άρα

$$\frac{df}{dx} = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dx} \quad (2.21)$$

Εφαρμόζοντας τη σχέση 2.21 για τη συνάρτηση  $\phi(\underline{x}, \underline{u})$  θα πάρουμε:

$$\frac{d\phi(\underline{x}, \underline{u})}{du_i} = \frac{\partial\phi(\underline{x}, \underline{u})}{\partial u_i} + \left[ \frac{\partial\phi(\underline{x}, \underline{u})}{\partial x} \right]^T \cdot \frac{dx}{du_i} \quad (2.22)$$

Στην παραπάνω σχέση η μερική παράγωγος  $\frac{\partial\phi(\underline{x}, \underline{u})}{\partial u_i}$  μπορεί να υπολογιστεί άμεσα.

Επίσης, η μερική παράγωγος  $\frac{\partial\phi(\underline{x}, \underline{u})}{\partial x}$  μπορεί να υπολογιστεί άμεσα για κάθε μεταβλητή του διανύσματος  $\mathbf{x}$ , που αποτελείται από τις γωνίες  $\delta$  των ζυγών φορτίου και παραγωγής και του μέτρου της τάσης μόνο των ζυγών φορτίου.

Τέλος, η παράγωγος  $\frac{dx}{du_i}$  δεν μπορεί να υπολογιστεί απευθείας καθώς θα πρέπει να

ληφθεί υπόψη η εξάρτηση του διανύσματος  $\mathbf{x}$  από το  $\mathbf{u}$ . Η σχέση που συνδέει το  $\mathbf{x}$  με το  $\mathbf{u}$  είναι οι εξισώσεις ροής φορτίου (σχέσεις 2.9, 2.10). Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να τεθούν στη μορφή:

$$g(\underline{x}, \underline{u}) = 0 \quad (2.23)$$

Διαφορίζοντας την παραπάνω σχέση ως προς  $u$  θα έχουμε:

$$\frac{dg(x, u)}{du_i} = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{\partial g(x, u)}{\partial u_i} + \left[ \frac{\partial g(x, u)}{\partial x} \right] \cdot \frac{dx}{du_i} = 0 \quad (2.24)$$

Επιλύοντας ως προς  $\frac{dx}{du_i}$  θα πάρουμε:

$$\frac{dx}{du_i} = - \left[ \frac{\partial g(x, u)}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial g(x, u)}{\partial u_i} \quad (2.25)$$

και αντικαθιστώντας την παραπάνω σχέση στην 2.22:

$$\frac{d\phi(x, u)}{du_i} = \frac{\partial \phi(x, u)}{\partial u_i} - \left[ \frac{\partial \phi(x, u)}{\partial x} \right]^T \cdot \left[ \frac{\partial g(x, u)}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial g(x, u)}{\partial u_i} \quad (2.26)$$

Η σχέση 2.26 εκφράζει επομένως την ευαισθησία της συνάρτησης  $\phi(\underline{x}, \underline{u})$  ως προς μια μεταβλητή  $u_i$ , το πόσο θα μεταβληθεί δηλαδή η συνάρτηση  $\phi(\underline{x}, \underline{u})$  από μια μεταβολή στη μεταβλητή  $u_i$ .

Στην παραπάνω σχέση μπορούμε να δούμε πως η μερική παράγωγος  $\frac{\partial \phi(x, u)}{\partial u_i}$

εξαρτάται και από τη συνάρτηση  $\phi$  και από τη μεταβλητή  $u_i$ .

Η μερική παράγωγος  $\frac{\partial \phi(x, u)}{\partial x}$  είναι ανεξάρτητη από τη μεταβλητή  $u_i$ , εξαρτάται μόνο από τη συνάρτηση  $\phi$ .

Η μερική παράγωγος  $\frac{\partial g(x, u)}{\partial x}$  δεν εξαρτάται ούτε από τη συνάρτηση  $\phi$  ούτε από τη μεταβλητή  $u_i$ . Συγκεκριμένα, η συνάρτηση  $g$  εκφράζει τις εξισώσεις ροής φορτίου και αυτές παραγωγιζόμενες ως προς το διάνυσμα  $x$  σχηματίζουν την Ιακωβιανή μήτρα που έχει ήδη υπολογιστεί με τη μέθοδο Newton- Raphson στην ανάλυση ροής φορτίου. Έτσι, η παράγωγος αυτή είναι σταθερή ανεξάρτητα από το ποια συνάρτηση  $\phi$  μας ενδιαφέρει και ως προς ποια μεταβλητή  $u_i$  εξετάζουμε την ευαισθησία της. Αντίθετα καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά και το σημείο λειτουργίας του δικτύου το οποίο εξετάζουμε.

Τέλος, η παράγωγος  $\frac{\partial g(x, u)}{\partial u_i}$  εξαρτάται μόνο από τη μεταβλητή  $u_i$ .

## 2.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός της ευαισθησίας του ρεύματος που διαρρέει ένα ζυγό  $k$  ως προς την ενεργό ισχύ που αποτελεί το φορτίο ενός ζυγού  $i$ . Εξετάζουμε δηλαδή το πόσο επηρεάζεται το ρεύμα του ζυγού  $k$  από μια μεταβολή της ενεργούς ισχύος του φορτίου του ζυγού  $i$ . Συγκεκριμένα πρέπει να υπολογίσουμε τη συνάρτηση που εκφράζει την παράγωγο του ρεύματος στο ζυγό  $k$  ως προς την ενεργό ισχύ φορτίου του ζυγού  $i$ , δηλαδή:

$$\gamma_{ik} = \frac{dI_k}{dP_{di}} \quad (2.27)$$

Έστω το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας του σχήματος 2.2.α.

Το ρεύμα μεταξύ του ζυγού  $k$  και του ζυγού  $m$  είναι:

$$\tilde{I}_{km} = (y_{skm} + y_{km}) \cdot \tilde{V}_k - y_{km} \cdot \tilde{V}_m \quad (2.28)$$

Σύμφωνα με το νόμο ρευμάτων του Kirchhoff θα έχουμε:

$$\tilde{I}_{Gk} - \tilde{I}_{Dk} = \sum_{m \in a(k)} \tilde{I}_{km} \quad (2.29)$$

όπου  $a(k)$  είναι το σύνολο των ζυγών που συνδέονται με το ζυγό  $k$ . Επομένως θα έχουμε τελικά:

$$\tilde{I}_{Gk} - \tilde{I}_{Dk} = \tilde{V}_k \cdot \sum_{m \in a(k)} (y_{skm} + y_{km}) - \sum_{m \in a(k)} y_{km} \cdot \tilde{V}_m \quad (2.30)$$

Το ρεύμα του ζυγού  $k$ , το οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε είναι το ρεύμα το οποίο διαρρέει το ζυγό αυτό. Σε κάθε περίπτωση, όσο ρεύμα εισέρχεται στο ζυγό από γεννήτριες ή άλλους ζυγούς, τόσο ρεύμα εξέρχεται προς το φορτίο του ζυγού ή προς άλλους ζυγούς. Το ρεύμα δηλαδή ενός ζυγού είναι το ρεύμα που εισέρχεται ή εξέρχεται από το ζυγό αυτό. Επιλέγουμε να εκφράσουμε το ρεύμα του ζυγού  $k$  ως το ρεύμα που εξέρχεται από το ζυγό αυτό.

Έτσι το ρεύμα που εξέρχεται από το ζυγό  $k$  θα είναι:

$$\tilde{I}_k = \tilde{V}_k \cdot \sum_{m \in a(k)} (y_{skm} + y_{km}) - \sum_{m \in a(k)} y_{km} \cdot \tilde{V}_m + \tilde{I}_{Dk}, \quad \text{για } \tilde{V}_m < \tilde{V}_k \quad (2.31)$$

Θέτουμε:

$$y = g + jb \quad (2.32)$$

$$\tilde{V} = V(\cos \delta + j \sin \delta) \quad (2.33)$$

$$y_{kk} = y_{skm} + y_{km} \quad (2.34)$$

$$a = \tan^{-1} \frac{Q}{P} \quad (2.35)$$

$$\tilde{I}_{dk} = \frac{S_k^*}{V_k^*} = \frac{S_k - a_k}{V_k - \delta_k} \Rightarrow$$



$$\tilde{I}_{dk} = \frac{S_k}{V_k} (\cos(\delta_k - a_k) + j \sin(\delta_k - a_k)) \quad (2.36)$$

Αντικαθιστώντας στη σχέση 2.31 θα πάρουμε:

$$\begin{aligned} \tilde{I}_k &= V_k \cdot (\cos \delta_k + j \sin \delta_k) \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{kk} + j b_{kk}) - \sum_{m \in a(k)} [(g_{km} + j b_{km}) \cdot V_m \cdot (\cos \delta_m + j \sin \delta_m)] \\ &+ \frac{S_k}{V_k} (\cos(\delta_k - a_k) + j \sin(\delta_k - a_k)) \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{I}_k &= V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} [g_{kk} \cdot \cos \delta_k - b_{kk} \cdot \sin \delta_k + j(b_{kk} \cdot \cos \delta_k + g_{kk} \cdot \sin \delta_k)] \\ &- \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos \delta_m - b_{km} \cdot \sin \delta_m + j(b_{km} \cdot \cos \delta_m + g_{km} \cdot \sin \delta_m)] + \frac{S_k}{V_k} (\cos(\delta_k - a_k) + j \sin(\delta_k - a_k)) \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{I}_k &= V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} [g_{kk} \cdot \cos \delta_k - b_{kk} \cdot \sin \delta_k] - \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos \delta_m - b_{km} \cdot \sin \delta_m] + \frac{S_k}{V_k} \cdot \cos(\delta_k - a_k) \\ &+ j \left[ V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} [b_{kk} \cdot \cos \delta_k + g_{kk} \cdot \sin \delta_k] - \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot (b_{km} \cdot \cos \delta_m + g_{km} \cdot \sin \delta_m) + \frac{S_k}{V_k} \cdot \sin(\delta_k - a_k) \right] \end{aligned} \quad (2.37)$$

Η εξίσωση 2.37 μπορεί να γραφεί:

$$\tilde{I}_k = \text{real}(\tilde{I}_k) + j \cdot \text{imag}(\tilde{I}_k) \quad (2.38)$$

Για τον υπολογισμό της ευαισθησίας του ρεύματος μας ενδιαφέρει το μέτρο του ρεύματος, επομένως η συνάρτηση που μας ενδιαφέρει είναι:

$$I_k = \sqrt{\text{real}(\tilde{I}_k)^2 + \text{imag}(\tilde{I}_k)^2} \quad (2.39)$$

Η μεταβολή του ρεύματος στο ζυγό k σε σχέση με μια μεταβολή του φορτίου στο ζυγό i δίνεται από τη σχέση 2.27.

Η σχέση 2.26 μας δίνει, όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, την ευαισθησία μιας συνάρτησης φ ως προς μια μεταβλητή  $u_i$ . Αν εφαρμόσουμε τη σχέση αυτή για το μέτρο του ρεύματος ως προς το φορτίο θα έχουμε:

$$\frac{dI_k}{dP_{di}} = \frac{\partial I_k}{\partial P_{di}} - \left[ \frac{\partial I_k}{\partial \underline{x}} \right]^T \cdot \left[ \frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{x}} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial \underline{g}}{\partial P_{di}} \quad (2.40),$$

όπου  $\underline{x}$  το διάνυσμα 2.19, και  $\underline{g}$  οι εξισώσεις ροής φορτίου στη μορφή  $\underline{g} = 0$ .

Από την παραπάνω σχέση μπορούμε επομένως να υπολογίσουμε την ευαισθησία του ρεύματος ως προς το φορτίο, αρκεί να υπολογίσουμε τα επιμέρους στοιχεία που την αποτελούν, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που δίνουν το μέτρο του ρεύματος που διαρρέει το ζυγό  $k$  και τις εξισώσεις ροής φορτίου:

- $\frac{\partial I_k}{\partial P_{di}}$

Η μερική παράγωγος του μέτρου του ρεύματος ως προς το φορτίο υπολογίζεται εύκολα από τη σχέση 2.39. Πρέπει να λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι  $S_k = \sqrt{P_k^2 + Q_k^2}$ , έτσι θα έχουμε:

$$\frac{\partial I_k}{\partial P_{di}} = 0, \text{ αν } k \neq i \quad (2.41)$$

$$\frac{\partial I_k}{\partial P_{di}} = \frac{\text{real}(I_k) \cdot \frac{P_k}{S_k} \cdot \frac{\cos(\delta_k - a_k)}{V_k} + \text{imag}(I_k) \cdot \frac{P_k}{S_k} \cdot \frac{\sin(\delta_k - a_k)}{V_k}}{I_k} \text{ αν } k=i \quad (2.42)$$

- $\frac{\partial I_k}{\partial \underline{x}}$

Η μερική παράγωγος του μέτρου του ρεύματος ως προς το διάνυσμα  $\underline{x}$  περιλαμβάνει τις παραγώγους ως προς τη γωνία  $\delta$  για τους ζυγούς φορτίου και τους ζυγούς παραγωγής και ως προς την τάση  $V$  μόνο για τους ζυγούς φορτίου. Μπορούμε εύκολα να κάνουμε τους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας τη σχέση 2.39 Έτσι, θα έχουμε τα παρακάτω:

$$\frac{\partial I_k}{\partial \underline{x}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial I_k}{\partial \delta_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial I_k}{\partial \delta_k} \\ \vdots \\ \frac{\partial I_k}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial I_k}{\partial V_{n-m+1}} \\ \vdots \\ \frac{\partial I_k}{\partial V_n} \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

$$\frac{\partial I_k}{\partial \delta_m} = \frac{\text{real}(I_k) \cdot V_m \cdot (g_{km} \cdot \sin \delta_m + b_{km} \cdot \cos \delta_m) - \text{imag}(I_k) \cdot V_m \cdot (g_{km} \cdot \cos \delta_m - b_{km} \cdot \sin \delta_m)}{I_k} \quad (2.44)$$

,για  $k \neq m$

$$\frac{\partial I_k}{\partial \delta_m} = \frac{-\text{real}(I_k) \cdot \left[ V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{kk} \cdot \sin \delta_k + b_{kk} \cdot \cos \delta_k) + \frac{S_k}{V_k} \cdot \sin(\delta_k - a_k) \right]}{I_k} \quad (2.45)$$

, για  $k=m$

$$+ \frac{\text{imag}(I_k) \cdot \left[ V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{kk} \cdot \cos \delta_k - b_{kk} \cdot \sin \delta_k) + \frac{S_k}{V_k} \cdot \cos(\delta_k - a_k) \right]}{I_k}$$

$$\frac{\partial I_k}{\partial V_m} = \frac{-\text{real}(I_k)(g_{km} \cdot \cos \delta_m - b_{km} \cdot \sin \delta_m) - \text{imag}(I_k) \cdot (b_{km} \cdot \cos \delta_m + g_{km} \cdot \sin \delta_m)}{I_k} \quad (2.46)$$

για  $k \neq m$

$$\frac{\partial I_k}{\partial V_m} = \frac{\text{real}(I_k) \cdot \left[ \sum_{m \in a(k)} (g_{kk} \cdot \cos \delta_k - b_{kk} \cdot \sin \delta_k) - \frac{S_k}{V_k^2} \cdot \cos(\delta_k - a_k) \right]}{I_k} + \frac{\text{imag}(I_k) \cdot \left[ \sum_{m \in a(k)} (g_{kk} \cdot \sin \delta_k - b_{kk} \cdot \cos \delta_k) - \frac{S_k}{V_k^2} \cdot \sin(\delta_k - a_k) \right]}{I_k}, \text{ για } k=m \quad (2.47)$$

Οι παραπάνω υπολογισμοί έγιναν με την υπόθεση ότι ζυγός ταλάντωσης είναι ο ζυγός 1. Αν υποθέσουμε όμως ότι ο ζυγός ταλάντωσης μπορεί να έχει κάποια άλλη αρίθμηση, έστω num, τότε αν για τον ζυγό i, ως προς του οποίου το φορτίο ψάχνουμε την ευαισθησία ισχύει  $i < \text{num}$ , η θέση την οποία θα καταλάβει η μερική παράγωγος ως προς  $\delta$  στο διάνυσμα 2.43 θα είναι η θέση i, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η θέση θα είναι η i-1. Αντίστοιχα θα ισχύει και για τη μερική παράγωγο ως προς V.

- $\frac{\partial g}{\partial x}$

Όπως έχει περιγραφεί και προηγουμένως, η συνάρτηση g εκφράζει τις εξισώσεις ροής φορτίου, οι οποίες παραγωγίζόμενες ως προς το διάνυσμα  $x$  θα μας δώσουν την Ιακωβιανή μήτρα της μεθόδου Newton- Raphson. Η μήτρα αυτή δεν εξαρτάται από τη συνάρτηση του ρεύματος ή από το ζυγό ως προς τον οποίο θέλουμε να εκφράσουμε τη μεταβολή της ισχύος, αλλά είναι σταθερή για όλα τα  $I_k$  και  $P_{di}$ . Εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά του δικτύου και το επίπεδο λειτουργίας του. Έτσι θα έχουμε:

$$\frac{\partial g}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_p}{\partial \delta} & \frac{\partial f_p}{\partial V} \\ \frac{\partial f_q}{\partial \delta} & \frac{\partial f_q}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

Όπου τα  $f_p$ ,  $f_q$ , δίνονται από τις σχέσεις 2.16 και 2.17

- $\frac{\partial g}{\partial P_{di}}$

Έστω ότι ο ζυγός ταλάντωσης βρίσκεται στη θέση num:

$$\frac{\partial g}{\partial P_{di}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1, n = i - 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ αν } \text{num} < i \quad (2.49)$$

$$\frac{\partial g}{\partial P_{di}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1, n = i \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ αν } \text{num} > i \quad (2.50)$$

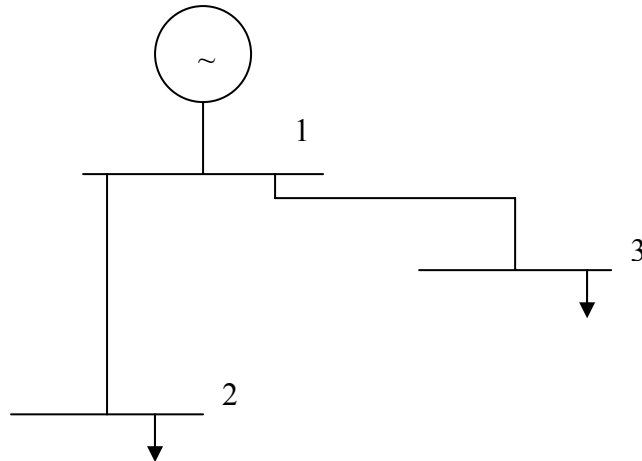
Μπορούμε επομένως να υπολογίσουμε τα μεγέθη  $\frac{\partial I_k}{\partial P_{di}}$ ,  $\frac{\partial I_k}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial g}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial g}{\partial P_{di}}$  και τελικά

τη σχέση 2.40, που θα μας δώσει την ευαισθησία του μέτρου του ρεύματος ενός ζυγού k ως προς τη μεταβολή του φορτίου σε ένα ζυγό i.

Στη συνέχεια δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού της ευαισθησίας του ρεύματος για ένα απλό δίκτυο.

## 2.6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Έστω το παρακάτω δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας:



Σχήμα 2.6.α: Απλό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Από ζυγό	Προς ζυγό	R (pu)	X (pu)
1	2	0.05	0.1
1	3	0.05	0.1

Σχήμα 2.6.β: Αντιστάσεις,  
αντιδράσεις του δικτύου

Ζυγός	Φορτίο	
	P (pu)	Q (pu)
1	-	-
2	0.5	-
3	1	-

Σχήμα 2.6.γ: Φορτίο του δικτύου

Ο ζυγός 1 είναι ο ζυγός ταλάντωσης, επομένως  $V_1 = 1$  pu και  $\delta_1 = 0$ .

Θα υπολογίσουμε την ευαισθησία του ρεύματος που διαρρέει το ζυγό 1 ως προς μια μεταβολή της ισχύος στο ζυγό 2, θα υπολογίσουμε δηλαδή την ποσότητα:

$$\gamma_{21} = \frac{dI_1}{dP_2} \quad (2.51)$$

που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{dI_1}{dP_2} = \frac{\partial I_1}{\partial P_2} - \left[ \frac{\partial I_1}{\partial x} \right]^T \cdot \left[ \frac{\partial g}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial g}{\partial P_2} \quad (2.52)$$

Είναι εύκολο να υπολογιστεί η τάση στους ζυγούς 2 και 3, που θα είναι:

$$\begin{aligned}\tilde{V}_2 &= 0.9730 \angle -2.946^\circ \\ \tilde{V}_3 &= 0.9412 \angle -6.099^\circ\end{aligned}\quad (2.53)$$

Ισχύει ότι:

$$\begin{aligned}Z &= R + jX \\ Y &= \frac{1}{R + jX}\end{aligned}$$

και για τις συγκεκριμένες τιμές θα προκύψει:

$$Y = 4 - j8 \text{ pu} \quad (2.54)$$

Το μέτρο του ρεύματος  $I_1$ , αντικαθιστώντας τις τιμές, θα είναι:

$$I_1 = \sqrt{\text{real}(\tilde{I}_1)^2 + \text{imag}(\tilde{I}_1)^2} \quad (2.55),$$

$$\begin{aligned}\text{real}(\tilde{I}_1) &= 1 \cdot (4 \cdot 1 + 8 \cdot 0 + 4 \cdot 1 + 8 \cdot 0) - 0.9730 \cdot (4 \cdot \cos(-2.9456) + 8 \cdot \sin(-2.9456)) \\ &\quad - 0.9412 \cdot (4 \cdot \cos(-6.0989) + 8 \cdot \sin(-6.0989)) \Rightarrow\end{aligned}$$

$$\text{real}(\tilde{I}_1) = 1.5696 \text{ pu} \quad (2.56)$$

$$\begin{aligned}\text{imag}(\tilde{I}_1) &= 1 \cdot (-8 \cdot 1 + 4 \cdot 0 - 8 \cdot 1 + 4 \cdot 0) - 0.9730 \cdot (-8 \cdot \cos(-2.9456) + 4 \cdot \sin(-2.9456)) \\ &\quad - 0.9412 \cdot (-8 \cdot \cos(-6.0989) + 4 \cdot \sin(-6.0989)) \Rightarrow\end{aligned}$$

$$\text{imag}(\tilde{I}_1) = -0.1393 \text{ pu} \quad (2.57)$$

Άρα,

$$I_1 = 1.5758 \text{ pu} \quad (2.58)$$

Μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε τα στοιχεία της σχέσης 2.52 χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 2.41 ως 2.50:

- $\frac{\partial I_1}{\partial P_{d2}}$

$$\frac{\partial I_1}{\partial P_{d2}} = 0 \quad (2.59)$$

- $\frac{\partial I_1}{\partial x}$

$$\frac{\partial I_1}{\partial \delta_2} = \frac{1.5696 \cdot 0.973 \cdot (4 \cdot \sin(-2.9456) - 8 \cdot \cos(-2.9456)) + 0.1393 \cdot 0.973 \cdot (4 \cdot \cos(-2.9456) + 8 \cdot \sin(-2.9456))}{1.5658} \Rightarrow$$

$$\frac{\partial I_1}{\partial \delta_2} = -7.6342 \quad (2.60)$$

Ομοίως, θα πάρουμε:

$$\frac{\partial I_1}{\partial \delta_3} = -7.5961, \quad \frac{\partial I_1}{\partial V_2} = -4.2939, \quad \frac{\partial I_1}{\partial V_3} = -3.8558 \quad (2.61)$$

Άρα,

$$\frac{\partial I_1}{\partial \underline{x}} = \begin{bmatrix} -7.6342 \\ -7.5961 \\ -4.2939 \\ -3.8558 \end{bmatrix} \quad (2.62)$$

- $\frac{\partial g}{\partial \underline{x}}$

Η Ιακωβιανή θα είναι:

$$J = \begin{bmatrix} 7.5736 & 0 & 3.3781 & 0 \\ 0 & 7.0871 & 0 & 2.7024 \\ -4.2868 & 0 & 7.7839 & 0 \\ 0 & -4.5436 & 0 & 7.5297 \end{bmatrix} \quad (2.63)$$



- $\frac{\partial g}{\partial P_{d2}}$

$$\frac{\partial g}{\partial P_{d2}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.64)$$

Αρα θα έχουμε τελικά:

$$\gamma_{21} = \frac{dI_1}{dP_2} = - \begin{bmatrix} -7.6342 \\ -7.5961 \\ -4.2939 \\ -3.8558 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 7.5736 & 0 & 3.3781 & 0 \\ 0 & 7.0871 & 0 & 2.7024 \\ -4.2868 & 0 & 7.7839 & 0 \\ 0 & -4.5436 & 0 & 7.5297 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\gamma_{21} = 7.6342 \cdot 0.1060 + 4.2939 \cdot 0.0584 = 1.0599 \quad (2.65)$$

Αρα η ευαισθησία του ρεύματος που διαρρέει το ζυγό 1 ως προς μια μεταβολή του φορτίου στο ζυγό 2 είναι 1.0599 σε ανά μονάδα τιμές.

Μπορούμε να ελέγξουμε το αποτέλεσμα υπολογίζοντας την ευαισθησία με ένα πιο απλοϊκό τρόπο, αυξάνοντας δηλαδή λίγο το φορτίο στο ζυγό 2 και μετρώντας τη μεταβολή του ρεύματος στο ζυγό 1. Όπως έχουμε ήδη υπολογίσει:

$$I_1 = 1.5758 \text{ pu, για } P_{d2} = 0.5 \text{ pu}$$

Αν επιλέξουμε να αυξήσουμε το φορτίο κατά 1% και υπολογίσουμε και πάλι το μέτρο του ρεύματος θα πάρουμε:

$$I_{1\text{TEA}} = 1.5811 \text{ pu, για } P_{d2\text{TEA}} = 0.505 \text{ pu}$$

Επομένως η ευαισθησία θα είναι:

$$\gamma_{21} = \frac{I_{1\text{TEA}} - I_1}{P_{d2\text{TEA}} - P_{d2}} = \frac{1.5811 - 1.5758}{0.505 - 0.5} = 1.06 \quad (2.66)$$

Πράγματι, συγκρίνοντας τις σχέσεις 2.65 και 2.66 μπορούμε να δούμε πως ο υπολογισμός της ευαισθησίας είναι ίδιος και για τις δύο περιπτώσεις.

## 2.7. ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Έχοντας υπολογίσει την ευαισθησία του ρεύματος  $k$  ως προς μια μεταβολή του φορτίου του ζυγού  $i$ , μπορούμε πλέον να συνεχίσουμε τους υπολογισμούς για τον προσδιορισμό του χρόνου αναβολής της επένδυσης σε μετασχηματιστές ή καλώδια του δικτύου και το κέρδος από την αναβολή αυτή.

Η ευαισθησία ως γνωστό είναι:

$$\gamma_{ik} = \frac{\partial I_k}{\partial P_{di}} \quad (2.67)$$

Στη μεταβολή του ρεύματος του ζυγού  $k$  συνεισφέρουν όλοι οι ζυγοί στους οποίους έχουμε μεταβολή του φορτίου με το χρόνο. Έτσι, το μέγεθος της συνολικής μεταβολής του ρεύματος του ζυγού  $k$  θα προκύπτει από το άθροισμα των μεταβολών του φορτίου όλων των ζυγών  $i$ , καθεμιάς πολλαπλασιασμένης με την αντίστοιχη ευαισθησία, θα έχουμε δηλαδή

$$dI_k = \sum_i \gamma_{ik} \cdot dP_{di} \quad (2.68)$$

Όπως έχει εξηγηθεί και προηγουμένως, το φορτίο αυξάνει με την πάροδο του χρόνου, έστω με ένα ρυθμό  $\sigma_i$  για κάθε ζυγό. Τότε, η αύξηση του φορτίου για το ζυγό  $i$ , θα μπορεί να εκφραστεί ως

$$dP_{di} = \sigma_i \cdot dt \quad (2.69)$$

Αντικαθιστώντας την τελευταία σχέση στη 2.68 θα έχουμε επομένως

$$dI_k = \sum_i \gamma_{ik} \cdot \sigma_i dt \quad (2.70)$$

Ο ρυθμός αύξησης του φορτίου μπορεί να μην είναι σταθερός, αλλά να μεταβάλλεται με το χρόνο, ενώ η ευαισθησία του ρεύματος να εξαρτάται από το φορτίο. Επομένως, στη γενικότερη περίπτωση θα ισχύει η σχέση

$$dI_k = \sum_i \gamma_{ik} (P_d) \sigma_i(t) dt \quad (2.71)$$

Μετά την τοποθέτηση μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής θα μειωθεί το ρεύμα που διαρρέει το ζυγό k σε σχέση με την τιμή του πριν την τοποθέτηση της μονάδας. Έστω ότι η μείωση αυτή είναι  $\Delta I_{km}$ . Επομένως, μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε το χρονικό διάστημα  $\tau_k$  που θα πρέπει να παρέλθει ώστε το ρεύμα να λάβει και πάλι την τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής.

Η τιμή του ρεύματος αυξάνεται σύμφωνα με τη σχέση 2.71 και εμείς θέλουμε να υπολογίσουμε το χρονικό διάστημα  $\tau_k$  που απαιτείται για να αυξηθεί το ρεύμα κατά  $\Delta I_{km}$ , έτσι θα έχουμε τη σχέση

$$\int_0^{\tau_k} \sum_i \gamma_{ik} (P_{di}) \sigma_i(t) dt = \Delta I_{km} \quad (2.72)$$

Θέλουμε δηλαδή να επιλύσουμε την παραπάνω σχέση ως προς  $\tau_k$ . Εξαιτίας της εξάρτησης του συντελεστή ευαισθησίας από το φορτίο και του ρυθμού αύξησης φορτίου από το χρόνο η εξίσωση 2.72 θα πρέπει να επιλυθεί με αριθμητικές μεθόδους.

Αν υποθέσουμε όμως πως ο συντελεστής ευαισθησίας έχει σταθερή τιμή, πράγμα που δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα όπως θα δούμε πιο κάτω, όπως και ο ρυθμός αύξησης φορτίου μπορούμε εύκολα να επιλύσουμε τη σχέση 2.72. Σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε:

$$\sum_i \gamma_{ik} \cdot \sigma_i \cdot \tau_k = \Delta I_{km} \Rightarrow$$

$$\tau_k = \frac{\Delta I_{km}}{\sum_i \gamma_{ik} \cdot \sigma_i} \quad (2.73)$$

Για να υπολογίσουμε επομένως το χρόνο αναβολής υπολογίζουμε μέσω της ροής φορτίου την τιμή του ρεύματος και μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας την ευαισθησία του ζυγού  $k$  πριν την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής, ως προς κάθε ζυγό του δικτύου. Τα παραπάνω αποτελέσματα τα λαμβάνουμε με τη βοήθεια των υλοποιημένων στο Matlab προγραμμάτων. Στη συνέχεια υπολογίζουμε την τιμή του ρεύματος στο ζυγό  $k$  μετά την τοποθέτηση της μονάδας. Θεωρούμε πως η τιμή της ευαισθησίας θα παραμείνει ίδια με πριν, καθώς όπως θα δείξουμε στη συνέχεια, η τιμή της ευαισθησίας παραμένει σχεδόν σταθερή, ειδικά από μια τόσο μικρή μεταβολή των συνολικών συνθηκών του δικτύου όπως είναι η τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής.

Γνωρίζοντας και τον ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται το φορτίο, εφαρμόζουμε τα δεδομένα αυτά στη σχέση 2.73 και έχουμε πλέον υπολογίσει το  $\tau_k$ , το χρόνο δηλαδή που θα κάνει το ρεύμα του ζυγού  $k$  να ξεναπάρει την τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής.

Έχοντας υπολογίσει το χρόνο αναβολής της επένδυσης μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε το χρηματικό όφελος από τη διαδικασία αυτή.

## 2.8. ΚΕΡΔΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης προκύπτει από τη χρονική αξία του χρήματος.

Έστω  $C$  το κόστος της επένδυσης για την αντικατάσταση ενός μετασχηματιστή ή ενός καλωδίου σε κάποιο σημείο του δικτύου. Αν η επένδυση πρόκειται να πραγματοποιηθεί μετά από χρόνο  $\tau_k$  εξαιτίας της αναβολής της από την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και το επιτόκιο αναγωγής είναι  $\rho$ , τότε η παρούσα αξία της επένδυσης θα είναι

$$PV(\tau_k) = \frac{C}{e^{\rho \cdot \tau_k}} \quad (2.74)$$

Η σχέση 2.74 εκφράζει το κόστος της επένδυσης, αν αυτή πραγματοποιηθεί μετά από χρονικό διάστημα  $\tau_k$ , εκφρασμένο με τη σημερινή αξία των χρημάτων.

Αντίθετα αν δεν είχε γίνει τοποθέτηση διεσπαρμένης μονάδας παραγωγής, η επένδυση θα πραγματοποιούνταν σήμερα και το κόστος αυτής θα ήταν  $C$ . Επομένως, η διαφορά μεταξύ των δύο επενδύσεων εκφρασμένων με την παρούσα αξία είναι το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης. Αυτό μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση

$$B_k(\tau_k) = C\left(1 - \frac{1}{e^{\rho\tau_k}}\right) \quad (2.75)$$

Αν συμπεριλάβουμε τις αναβολές επενδύσεων σε μετασχηματιστές και καλώδια όλου του δικτύου που θα προκληθούν από την τοποθέτηση μιας μονάδας, το συνολικό όφελος θα είναι

$$B = \sum_k C_k \left(1 - \frac{1}{e^{\rho\tau_k}}\right) \quad (2.76)$$

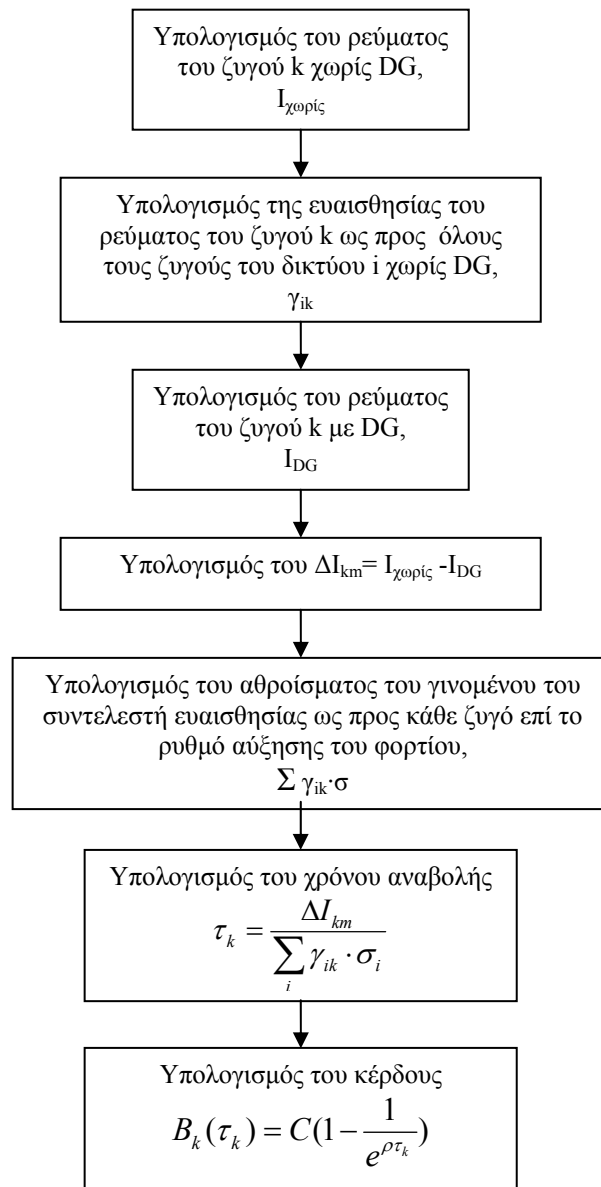
Στα παραπάνω έχουμε υποθέσει πως το κόστος για την επένδυση θα είναι  $C$ , είτε αποφασίσουμε να πραγματοποιήσουμε την επένδυση σήμερα, είτε στο μέλλον.

Υπολογίσαμε έτσι και το όφελος από την αναβολή της επένδυσης.

Παρατηρώντας τις σχέσεις 2.73 και 2.75 μπορούμε να δούμε άμεσα τους παράγοντες από τους οποίους θα εξαρτάται το κέρδος. Όσο μεγαλύτερο είναι το κόστος της αντικατάστασης των στοιχείων του δικτύου, τόσο μεγαλύτερο κέρδος θα αποκομίσουμε από την αναβολή της αντικατάστασης αυτής, όπως φαίνεται από τη σχέση 2.75. Μεγάλο επιτόκιο αναγωγής θα σημαίνει μεγαλύτερο κέρδος, όπως και πάλι φαίνεται από τη σχέση 2.75. Προφανώς, για να έχουμε μεγάλο κέρδος θέλουμε και ο χρόνος αναβολής να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλος. Για να έχουμε όμως μεγάλο χρόνο αναβολής θέλουμε να έχουμε μικρό ρυθμό αύξησης του φορτίου, όπως προκύπτει από τη σχέση 2.73. Τέλος για να αυξήσουμε το χρόνο αναβολής και επομένως το κέρδος θέλουμε η μονάδα που θα τοποθετηθεί να είναι σχετικά μεγάλης ισχύος και να τοποθετηθεί σε σημείο του δικτύου με μεγάλη ζήτηση φορτίου ώστε το

ρεύμα να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με την τιμή του πριν την τοποθέτηση της μονάδας.

Παρακάτω φαίνεται ο αλγόριθμος υπολογισμού του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους από την αναβολή αυτή.



Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας σε συγκεκριμένα παραδείγματα, στη χαμηλή, τη μέση, και την υψηλή τάση.

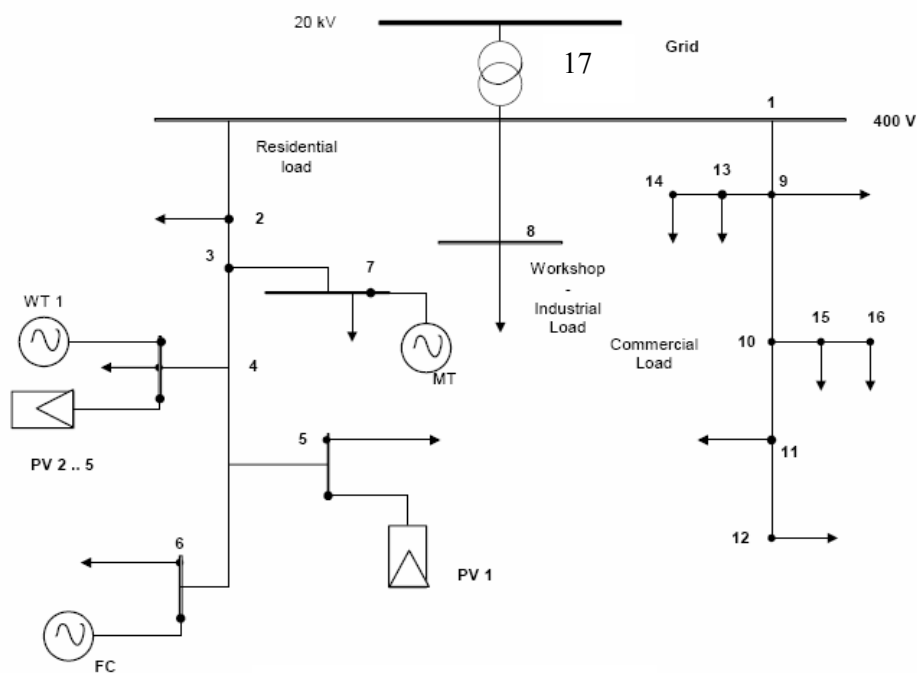
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ

#### 3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή της μεθόδου υπολογισμού του χρόνου αναβολής της επένδυσης αναβάθμισης στοιχείων του δικτύου από την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και του κέρδους από την αναβολή αυτή, για τη χαμηλή τάση.

Το δίκτυο, πάνω στο οποίο έγιναν οι υπολογισμοί φαίνεται στη συνέχεια:



Σχήμα 3.1.α: Δίκτυο Χαμηλής Τάσης

Στα σχήματα 3.1.β και 3.1.γ φαίνονται οι δυνατότητες παραγωγής και το είδος των διεσπαρμένων μονάδων καθώς και οι αντιστάσεις και αντιδράσεις των γραμμών του δικτύου.

Μονάδα		Ελάχιστη Παραγωγή (kW)	Μέγιστη Παραγωγή (kW)
1	Microturbine	2	30
2	Fuel Cell	1	30
3	WT 1	0.1	15
4	PV 1	0.05	3
5	PV 2	0.05	2.5
6	PV 3	0.05	2.5
7	PV 4	0.05	2.5
8	PV 5	0.05	2.5

**Σχήμα 3.1.β:** Οι διεσπαρμένες στο δίκτυο μονάδες παραγωγής

Από Ζυγό	Προς Ζυγό	R (pu)	X (pu)
1	2	0.0001	0.0001
2	3	0.0125	0.00375
3	4	0.0125	0.00375
4	5	0.0125	0.01
5	6	0.0125	0.00375
3	7	0.021875	0.004375
1	8	0.0025	0.00875
1	9	0.0075	0.005
9	10	0.015	0.010625
10	11	0.02125	0.005625
11	12	0.02125	0.005625
9	13	0.010625	0.005625
13	14	0.010625	0.005625
10	15	0.023125	0.00625
15	16	0.023125	0.00625
17	1	0.033125	0.00375

**Σχήμα 3.1.γ:** Αντιστάσεις και Αντιδράσεις των ζυγών του δικτύου

Η ανάλυση έγινε ως προς το ρεύμα που διαρρέει το ζυγό 17. Υπολογίσαμε δηλαδή το κέρδος που αποκομίζουμε από την αναβολή της αντικατάστασης του μετασχηματιστή που βρίσκεται στο ζυγό αυτό. Η εκτίμηση του κόστους αντικατάστασης του μετασχηματιστή έγινε με βάση τα ευρήματα της έρευνας του Shirley *et al* [14] και εμπειρικά δεδομένα. Έτσι, το κόστος ενός μετασχηματιστή 500 KVA υπολογίστηκε πως θα είναι περίπου 15000 €.



Θεωρήθηκε πως οι μονάδες παραγωγής λειτουργούν υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος.

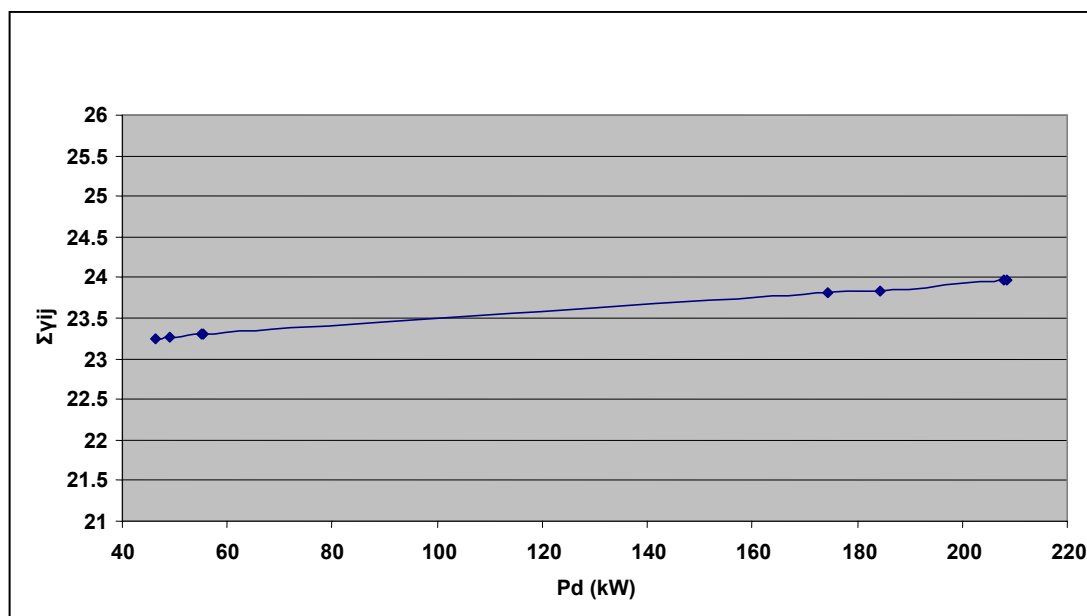
Για την απλοποίηση της ανάλυσης, αγνοήθηκε η επίδραση των ρυθμιστών τάσης.

Για τη μελέτη του δικτύου έγινε η υπόθεση ότι το φορτίο σε κάθε ζυγό αυξάνει με ρυθμό 0.3 kW/ μήνα, παρά το γεγονός ότι σε διαφορετικούς ζυγούς θα μπορούσε να αυξάνεται το φορτίο με διαφορετικούς ρυθμούς. Για το ζυγό ταλάντωσης θεωρήσαμε πως δεν έχουμε αύξηση φορτίου. Έγινε επίσης η υπόθεση ότι το επιτόκιο αναγωγής είναι  $\rho = 5\%$ / χρόνο.

Η εφαρμογή έγινε για συγκεκριμένα σενάρια διείσδυσης [15] και για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο, για τις ώρες 05:00 το πρωί και 19:00 το απόγευμα, το φορτίο των οποίων ήταν δεδομένο [15]. Για κάθε μήνα και ώρα παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα πριν την τοποθέτηση των μονάδων έτσι ώστε να υπάρχει σύγκριση.

Ο υπολογισμός των συντελεστών ευαισθησίας γινόταν μια φορά για κάθε μήνα και ώρα, για την περίπτωση που δεν έχουμε διεσπαρμένη παραγωγή. Για όλα τα σενάρια διείσδυσης χρησιμοποιούνταν αυτοί οι συντελεστές αφού μόνο από την τοποθέτηση διεσπαρμένης παραγωγής, το συνολικό φορτίο μεταβάλλεται πολύ λίγο για να επηρεάσει τους συντελεστές ευαισθησίας, όπως θα φανεί στη συνέχεια.

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται πώς μεταβάλλεται η τιμή του συντελεστή ευαισθησίας σε σχέση με το επίπεδο του φορτίου. Συγκεκριμένα φαίνεται η σχέση μεταξύ του αθροίσματος των συντελεστών ευαισθησίας του ρεύματος του ζυγού 17 ως προς κάθε ζυγό σε σχέση με το φορτίο. Τα δεδομένα είναι από τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο και ώρες 05:00 το πρωί και 19:00 το απόγευμα, και για την περίπτωση που δεν έχουμε διεσπαρμένη παραγωγή.



**Σχήμα 3.1.δ:** Σχέση Ευαισθησίας Ρεύματος-Συνολικού Φορτίου του Δικτύου

Όπως φαίνεται από το σχήμα 3.1.δ, το άθροισμα των συντελεστών ευαισθησίας έχει μια εξάρτηση από το επίπεδο του φορτίου, αλλά η εξάρτηση αυτή είναι μικρή. Ακόμα και μεταξύ των δύο ακραίων τιμών του φορτίου παρατηρούμε πως η αντίστοιχη διαφορά στην ευαισθησία είναι πολύ μικρή.

Ακόμα μικρότερη είναι επομένως η διαφορά των τιμών ευαισθησίας για δεδομένο μήνα και ώρα μεταξύ της περίπτωσης που δεν έχουμε διεσπαρμένη παραγωγή και της περίπτωσης που έχουμε διεσπαρμένη παραγωγή. Αρκεί επομένως όπως αναφέρθηκε παραπάνω να γίνεται ο υπολογισμός της ευαισθησίας μια φορά για κάθε μήνα και ώρα, για παράδειγμα για την περίπτωση χωρίς διεσπαρμένη παραγωγή, αφού η διαφορά θα είναι αμελητέα και οι υπολογισμοί διευκολύνονται πολύ.

### 3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ $\sigma = 300\text{Watt/ Μήνα}$ και $\rho = 5\% / \text{χρόνο}$

#### 3.2.a Πίνακες Αποτελεσμάτων για τη Χαμηλή Τάση

Στους επόμενους πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το χρόνο αναβολής της επένδυσης, το κέρδος από την αναβολή αυτή, αλλά και το συνολικό κέρδος από την αντικατάσταση 5000 τέτοιων μετασχηματιστών για όλα τα πιθανά σενάρια διεξόδου. Παράλληλα παρουσιάζονται η έγχυση ισχύος και ρεύματος από

το δίκτυο μέσης τάσης, όπως και η μείωση στην έγχυση του ρεύματος από την τοποθέτηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

Για τον μήνα Ιανουάριο, τόσο για την ώρα 05:00 το πρωί, όσο και για 19:00 το απόγευμα, παρουσιάστηκαν ενδεικτικά, αναλυτικά, οι τιμές της ευαισθησίας του ρεύματος του ζυγού 17 ως προς τη μεταβολή του φορτίου όλων των ζυγών.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.α.

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\ \%/ \text{χρόνο}$

<i>Υπολογισμός της ευαισθησίας (<math>\gamma_{i17}</math>) του ρεύματος <math>I_{17}</math>, στο ζυγό 17 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό <math>i</math> (A/kW)</i>			
<i>Ζυγός (i)</i>	<i><math>\gamma_{i17}</math> (A/kVA)</i>	<i><math>\sigma_i</math> (Watt/Month)</i>	<i><math>\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i\cdot dt</math> (A)</i>
1	1.4475	300	<b>6.98931·dt</b>
2	1.4475	300	
3	1.4543	300	
4	1.4573	300	
5	1.4586	300	
6	1.4596	300	
7	1.4612	300	
8	1.465	300	
9	1.4514	300	
10	1.455	300	
11	1.4583	300	
12	1.4598	300	
13	1.4534	300	
14	1.4544	300	
15	1.4569	300	
16	1.4575	300	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.β.**

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\%$  / χρόνο  
 $\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i=6.98931\text{ A/ μήνα}$   
 $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=55.201\text{kW}$

<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ</b>							
<b>ΣΕΝΑΡΙΑ</b>		<b>ΖΥΓΟΣ 17</b>		<b>Διαφορά Ρευμάτων (A) <math> I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} </math></b>	<b>Χρόνος αναβολής, τ (Μήνες)</b>	<b>Κέρδος, Β (€)</b>	<b>Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€)</b>
		<b>Έγγυση από το δίκτυο</b>					
		<b>S(kVA)</b>	<b>I(A)</b>				
1	<i>Χωρίς DG</i>	55.5136	80.12692	0	0	0	0
2	<i>DG (avg-APX-avg-RES)</i>	53.8081	77.66533	2.46159	0.352194	21.99595	109979.8
3	<i>DG (avg-APX-max-RES)</i>	47.6155	68.72708	11.39984	1.631039	101.5944	507971.8
4	<i>DG (avg-APX-min-RES)</i>	55.1602	79.61695	0.50997	0.072964	4.559575	22797.87
5	<i>DG (max-APX-avg-RES)</i>	53.8081	77.66533	2.46159	0.352194	21.99595	109979.8
6	<i>DG (max-APX-max-RES)</i>	47.6155	68.72708	11.39984	1.631039	101.5944	507971.8
7	<i>DG (max-APX-min-RES)</i>	55.1602	79.61695	0.50997	0.072964	4.559575	22797.87
8	<i>DG (min-APX-avg-RES)</i>	53.8081	77.66533	2.46159	0.352194	21.99595	109979.8
9	<i>DG (min-APX-max-RES)</i>	47.6155	68.72708	11.39984	1.631039	101.5944	507971.8
10	<i>DG (min-APX-min-RES)</i>	55.1602	79.61695	0.50997	0.072964	4.559575	22797.87

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.γ.**

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\%/ \text{χρόνο}$

<b>Υπολογισμός της εναισθησίας (<math>\gamma_{i17}</math>) του ρεύματος <math>I_{17}</math>, στο ζυγό 17 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό <math>i</math> (A/kW)</b>			
<b>Ζυγός (<math>i</math>)</b>	<b><math>\gamma_{i17}</math> (A/kVA)</b>	<b><math>\sigma_i</math> (Watt/Month)</b>	<b><math>\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i\cdot dt</math> (A)</b>
1	1.4603	300	<b>7.19274·dt</b>
2	1.4606	300	
3	1.4932	300	
4	1.5073	300	
5	1.514	300	
6	1.5187	300	
7	1.5265	300	
8	1.5041	300	
9	1.4783	300	
10	1.495	300	
11	1.5105	300	
12	1.5174	300	
13	1.4872	300	
14	1.4919	300	
15	1.5039	300	
16	1.5069	300	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.δ.**

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (19:00 απόγευμα)

 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\ \%/ \text{χρόνο}$  $\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i = 7.19274\ \text{A/ μήνα}$  $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=207.965\text{kW}$ 

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ							
ΣΕΝΑΡΙΑ		ΖΥΓΟΣ 17		Διαφορά Ρευμάτων (A) $ I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} $	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€)	Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 5000 M/Σ 400 kVA (€)
		Έγγυση από το δίκτυο					
		S(kVA)	I(A)				
1	<i>Χωρίς DG</i>	212.3981	306.57028	0	0	0	0
2	<i>DG (avg-APX-avg-RES)</i>	141.3821	204.06745	102.5028	14.25087	864.7517	4323758
3	<i>DG (avg-APX-max-RES)</i>	144.8317	209.04652	97.52376	13.55864	823.9223	4119612
4	<i>DG (avg-APX-min-RES)</i>	148.8055	214.78227	91.78801	12.7612	776.7418	3883709
5	<i>DG (max-APX-avg-RES)</i>	141.3821	204.06745	102.5028	14.25087	864.7517	4323758
6	<i>DG (max-APX-max-RES)</i>	144.8317	209.04652	97.52376	13.55864	823.9223	4119612
7	<i>DG (max-APX-min-RES)</i>	148.8055	214.78227	91.78801	12.7612	776.7418	3883709
8	<i>DG (min-APX-avg-RES)</i>	172.325	248.72971	57.84057	8.041521	494.2683	2471341
9	<i>DG (min-APX-max-RES)</i>	175.8086	253.75791	52.81237	7.342455	451.9547	2259774
10	<i>DG (min-APX-min-RES)</i>	179.8218	259.55047	47.01981	6.537121	403.0559	2015280

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.ε.**

**ΑΠΡΙΑΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\ \%/ \text{χρόνο}$   
 $\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i = 6.98226\ \text{A/ μήνα}$   
 $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=48.954\text{kW}$

<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ</b>							
<b>ΣΕΝΑΡΙΑ</b>		<b>ΖΥΓΟΣ 17</b>		<b>Διαφορά Ρευμάτων (A) <math> I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} </math></b>	<b>Χρόνος αναβολής, <math>\tau</math> (Μήνες)</b>	<b>Κέρδος, B (€)</b>	<b>Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 5000 M/Σ 400 kVA (€)</b>
		<b>Έγγυση από το δίκτυο</b>					
		<b>S(kVA)</b>	<b>I(A)</b>				
1	<i>Χωρίς DG</i>	49.2	71.01403	0	0	0	0
2	<i>DG (avg-APX-avg-RES)</i>	46.1769	66.6507	4.36333	0.624917	39.00648	195032.4
3	<i>DG (avg-APX-max-RES)</i>	39.0728	56.39667	14.61736	2.0935	130.2747	651373.6
4	<i>DG (avg-APX-min-RES)</i>	49.2	71.01403	0	0	0	0
5	<i>DG (max-APX-avg-RES)</i>	46.1769	66.6507	4.36333	0.624917	39.00648	195032.4
6	<i>DG (max-APX-max-RES)</i>	39.0728	56.39667	14.61736	2.0935	130.2747	651373.6
7	<i>DG (max-APX-min-RES)</i>	49.2	71.01403	0	0	0	0
8	<i>DG (min-APX-avg-RES)</i>	46.1769	66.6507	4.36333	0.624917	39.00648	195032.4
9	<i>DG (min-APX-max-RES)</i>	39.0728	56.39667	14.61736	2.0935	130.2747	651373.6
10	<i>DG (min-APX-min-RES)</i>	49.2	71.01403	0	0	0	0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.στ.**

**ΑΠΡΙΛΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\%$  / χρόνο  
 $\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i = 7.1508 \text{ A/ μήνα}$   
 $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=184.433\text{kW}$

<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ</b>							
<b>ΣΕΝΑΡΙΑ</b>		<b>ΖΥΓΟΣ 17</b>		<b>Διαφορά Ρευμάτων (A) <math> I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} </math></b>	<b>Χρόνος αναβολής, <math>\tau</math> (Μήνες)</b>	<b>Κέρδος, B (€)</b>	<b>Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 5000 M/Σ 400 kVA (€)</b>
		<b>Έγχυση από το δίκτυο</b>					
		<b>S(kVA)</b>	<b>I(A)</b>				
1	<i>Χωρίς DG</i>	187.8943	271.2021	0	0	0	0
2	<i>DG (avg-APX-avg-RES)</i>	181.0926	261.3846	9.8175	1.372923	85.56274	427813.7
3	<i>DG (avg-APX-max-RES)</i>	178.5482	257.7121	13.49	1.886502	117.4442	587221
4	<i>DG (avg-APX-min-RES)</i>	187.8943	271.2021	0	0	0	0
5	<i>DG (max-APX-avg-RES)</i>	181.0926	261.3846	9.8175	1.372923	85.56274	427813.7
6	<i>DG (max-APX-max-RES)</i>	178.5482	257.7121	13.49	1.886502	117.4442	587221
7	<i>DG (max-APX-min-RES)</i>	187.8943	271.2021	0	0	0	0
8	<i>DG (min-APX-avg-RES)</i>	181.0926	261.3846	9.8175	1.372923	85.56274	427813.7
9	<i>DG (min-APX-max-RES)</i>	178.5482	257.7121	13.49	1.886502	117.4442	587221
10	<i>DG (min-APX-min-RES)</i>	187.8943	271.2021	0	0	0	0



**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.ζ.**

**ΙΟΥΛΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\%$  / χρόνο  
 $\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i = 6.98946 \text{ A/ μήνα}$   
 $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=55.354\text{kW}$

<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ</b>							
<b>ΣΕΝΑΡΙΑ</b>		<b>ΖΥΓΟΣ 17</b>		<b>Διαφορά Ρευμάτων (A) <math> I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} </math></b>	<b>Χρόνος αναβολής, <math>\tau</math> (Μήνες)</b>	<b>Κέρδος, B (€)</b>	<b>Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 5000 M/Σ 400 kVA (€)</b>
		<b>Έγγυση από το δίκτυο</b>					
		<b>S(kVA)</b>	<b>I(A)</b>				
1	<i>Χωρίς DG</i>	55.6688	80.35105	0	0	0	0
2	<i>DG (avg-APX-avg-RES)</i>	49.9935	72.15932	8.19173	1.172012	73.07218	365360.9
3	<i>DG (avg-APX-max-RES)</i>	45.9018	66.25354	14.09751	2.016967	125.5322	627661
4	<i>DG (avg-APX-min-RES)</i>	55.6688	80.35105	0	0	0	0
5	<i>DG (max-APX-avg-RES)</i>	49.9935	72.15932	8.19173	1.172012	73.07218	365360.9
6	<i>DG (max-APX-max-RES)</i>	45.9018	66.25354	14.09751	2.016967	125.5322	627661
7	<i>DG (max-APX-min-RES)</i>	55.6688	80.35105	0	0	0	0
8	<i>DG (min-APX-avg-RES)</i>	49.9935	72.15932	8.19173	1.172012	73.07218	365360.9
9	<i>DG (min-APX-max-RES)</i>	45.9018	66.25354	14.09751	2.016967	125.5322	627661
10	<i>DG (min-APX-min-RES)</i>	55.6688	80.35105	0	0	0	0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.η.**

**ΙΟΥΛΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\%$  / χρόνο  
 $\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i = 7.19352 \text{ A/ μήνα}$   
 $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=208.543\text{kW}$

<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ</b>							
<b>ΣΕΝΑΡΙΑ</b>		<b>ΖΥΓΟΣ 17</b>		<b>Διαφορά Ρευμάτων (A) <math> I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} </math></b>	<b>Χρόνος αναβολής, <math>\tau</math> (Μήνες)</b>	<b>Κέρδος, B (€)</b>	<b>Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 5000 M/Σ 400 kVA (€)</b>
		<b>Έγγυση από το δίκτυο</b>					
		<b>S(kVA)</b>	<b>I(A)</b>				
1	<i>Χωρίς DG</i>	213.0016	307.4413	0	0	0	0
2	<i>DG (avg-APX-avg-RES)</i>	201.3001	290.5517	16.8896	2.347891	146.0277	730138.6
3	<i>DG (avg-APX-max-RES)</i>	202.3603	292.082	15.3593	2.135158	132.8555	664277.5
4	<i>DG (avg-APX-min-RES)</i>	212.3535	306.5059	0.9354	0.130034	8.124905	40624.52
5	<i>DG (max-APX-avg-RES)</i>	139.5421	201.4116	106.0297	14.73961	893.5076	4467538
6	<i>DG (max-APX-max-RES)</i>	140.5706	202.8962	104.5451	14.53323	881.3719	4406860
7	<i>DG (max-APX-min-RES)</i>	150.2932	216.9295	90.5118	12.58241	766.1419	3830709
8	<i>DG (min-APX-avg-RES)</i>	201.3001	290.5517	16.8896	2.347891	146.0277	730138.6
9	<i>DG (min-APX-max-RES)</i>	202.3603	292.082	15.3593	2.135158	132.8555	664277.5
10	<i>DG (min-APX-min-RES)</i>	212.3535	306.5059	0.9354	0.130034	8.124905	40624.52

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.0**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\%$  / χρόνο  
 $\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i = 6.97341 \text{ A/ μήνα}$   
 $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=46.291\text{kW}$

<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ</b>							
<b>ΣΕΝΑΡΙΑ</b>		<b>ΖΥΓΟΣ 17</b>		<b>Διαφορά Ρευμάτων (A) <math> I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} </math></b>	<b>Χρόνος αναβολής, τ (Μήνες)</b>	<b>Κέρδος, Β (€)</b>	<b>Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€)</b>
		<b>Έγγυση από το δίκτυο</b>					
		<b>S(kVA)</b>	<b>I(A)</b>				
1	<i>Χωρίς DG</i>	46.5101	67.13158	0	0	0	0
2	<i>DG (avg-APX-avg-RES)</i>	39.6082	57.16951	9.96207	1.428579	89.02101	445105
3	<i>DG (avg-APX-max-RES)</i>	41.8087	60.34569	6.78589	0.973109	60.6962	303481
4	<i>DG (avg-APX-min-RES)</i>	46.5101	67.13158	0	0	0	0
5	<i>DG (max-APX-avg-RES)</i>	39.6082	57.16951	9.96207	1.428579	89.02101	445105
6	<i>DG (max-APX-max-RES)</i>	41.8087	60.34569	6.78589	0.973109	60.6962	303481
7	<i>DG (max-APX-min-RES)</i>	46.5101	67.13158	0	0	0	0
8	<i>DG (min-APX-avg-RES)</i>	39.6082	57.16951	9.96207	1.428579	89.02101	445105
9	<i>DG (min-APX-max-RES)</i>	41.8087	60.34569	6.78589	0.973109	60.6962	303481
10	<i>DG (min-APX-min-RES)</i>	46.5101	67.13158	0	0	0	0

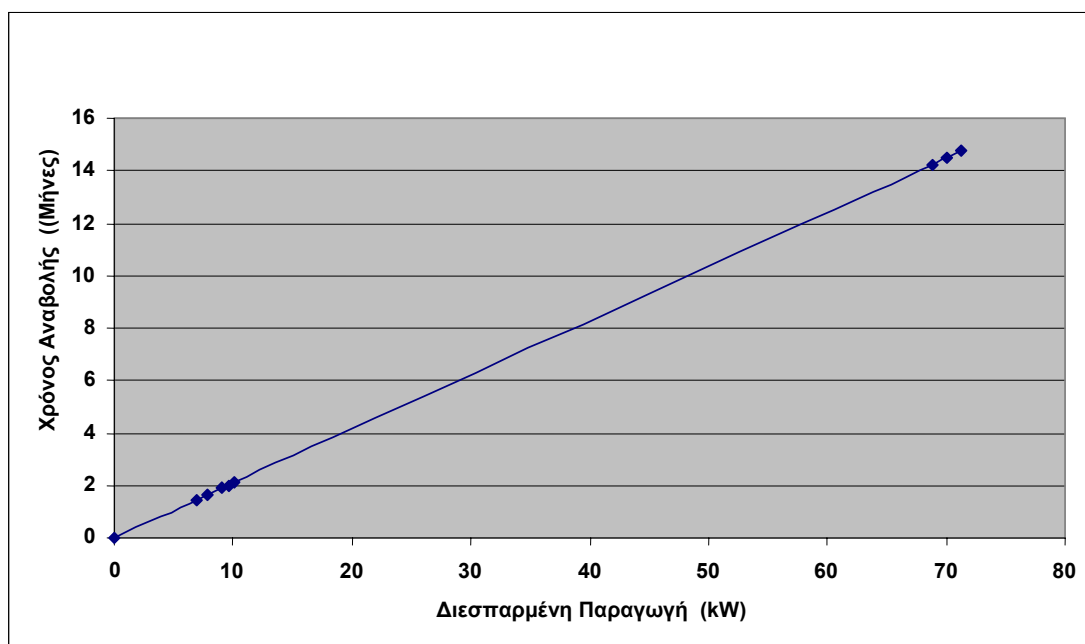
**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1.**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
 $\sigma_i=300\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\ \%/ \text{χρόνο}$   
 $\Sigma\gamma_{i,17}\cdot\sigma_i = 7.14654\ \text{A/ μήνα}$   
 $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=174.397\text{kW}$

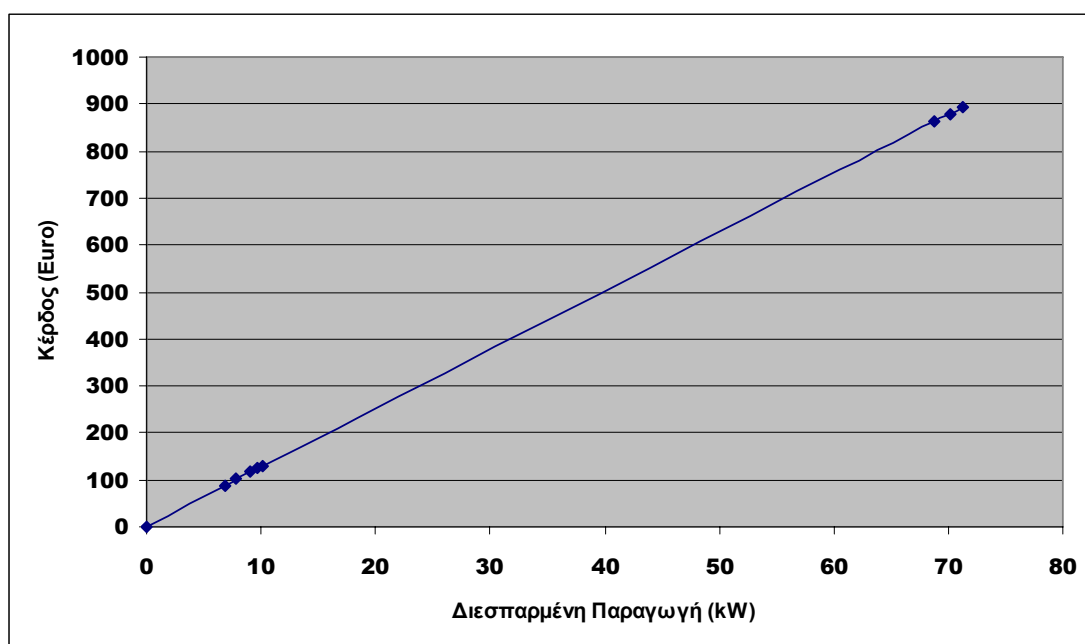
<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ</b>							
<b>ΣΕΝΑΡΙΑ</b>		<b>ΖΥΓΟΣ 17</b>		<b>Διαφορά Ρευμάτων (A) <math> I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} </math></b>	<b>Χρόνος αναβολής, <math>\tau</math> (Μήνες)</b>	<b>Κέρδος, B (€)</b>	<b>Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 5000 M/Σ 400 kVA (€)</b>
		<b>Έγγυση από το δίκτυο</b>					
		<b>S(kVA)</b>	<b>I(A)</b>				
1	<i>Χωρίς DG</i>	177.4827	256.1742	0	0	0	0
2	<i>DG (avg-APX-avg-RES)</i>	146.7058	211.7516	44.4226	6.215959	383.5096	1917548
3	<i>DG (avg-APX-max-RES)</i>	136.4278	196.9165	59.2577	8.291803	509.3875	2546938
4	<i>DG (avg-APX-min-RES)</i>	144.4766	208.534	47.6402	6.666191	410.9039	2054520
5	<i>DG (max-APX-avg-RES)</i>	115.9559	167.368	88.8062	12.42646	756.89	3784450
6	<i>DG (max-APX-max-RES)</i>	105.7761	152.6747	103.4995	14.48246	878.3849	4391925
7	<i>DG (max-APX-min-RES)</i>	113.7481	164.1812	91.993	12.87238	783.3293	3916646
8	<i>DG (min-APX-avg-RES)</i>	177.4827	256.1742	0	0	0	0
9	<i>DG (min-APX-max-RES)</i>	167.0241	241.0786	15.0956	2.112295	131.4392	657195.8
10	<i>DG (min-APX-min-RES)</i>	175.2141	252.8998	3.2744	0.45818	28.60892	143044.6

## 3.2.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για τη Χαμηλή Τάση

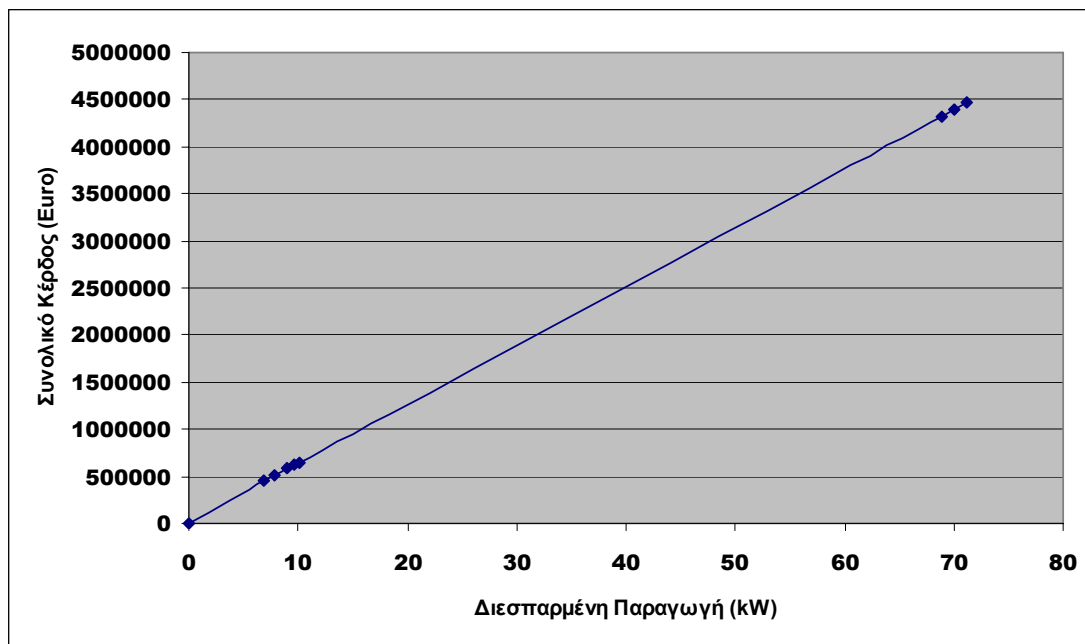
Παίρνοντας για κάθε μήνα και ώρα 05:00 και 19:00 τη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής και τον αντίστοιχο χρόνο αναβολής και τιμή κέρδους, για  $\rho = 5\%$  / έτος και  $\sigma = 300$  W/ μήνα, μπορούμε να δούμε τη σχέση μεταξύ αυτών των μεγεθών:



Σχήμα 3.2.α: Συνολική Διείσδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής - Χρόνος Αναβολής της Επένδυσης



Σχήμα 3.2.β: Συνολική Διείσδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής - Κέρδος από την Αναβολή της Επένδυσης



**Σχήμα 3.2.γ:** Συνολική Διείσδυση της Διεσπαρμένης Παραγωγής – Συνολικό Κέρδος από την Αναβολή της Επένδυσης

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, όσο αυξάνεται η συνολική διεσπαρμένη παραγωγή που τοποθετείται στο δίκτυο, τόσο αυξάνεται ο χρόνος αναβολής της επένδυσης και το κέρδος που αποκομίζουμε.

### 3.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ $\sigma$ και $\rho$ ΓΙΑ ΤΟ ΠΙΟ ΕΥΝΟΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

#### 3.3.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για τη Χαμηλή Τάση

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το χρόνο αναβολής και το κέρδος από την επένδυση, υποθέτοντας ότι έχουμε διαφορετικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, κάναμε υπολογισμούς για ρυθμούς αύξησης φορτίου  $\sigma = 100, 500, 700$  και  $1000$  Watt/ μήνα, αλλά και με διαφορετικά επιτόκια αναγωγής και συγκεκριμένα για  $\rho = 3, 5, 7$  % / χρόνο.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα υπό αυτές τις συνθήκες, αφού πρώτα έχει επιλεγεί για κάθε περίπτωση το πιο ευνοϊκό σενάριο, το σενάριο εκείνο δηλαδή με το μεγαλύτερο χρόνο αναβολής και κατά συνέπεια το μεγαλύτερο κέρδος:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.α.****ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (05:00 πρωί)  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma$ ,  $\rho$**  $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=55.201\text{kW}$ Έγγκυση από το δίκτυο για το πιο ευνοϊκό σενάριο:  $S=47.6155\text{ kVA}$  $I=68.72708\text{ A}$ 

$\sigma$ (Watt/ μήνα)	$\sum \gamma_{i,17} \cdot \sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€) $\rho=7\%$
<b>100</b>	2.32977	4.893118	182.3742	911870.9	302.7234	911870.9	544.3544	2721772
<b>300</b>	6.98931	1.631039	61.03945	305197.2	101.5944	507971.8	142.0392	153926.5
<b>500</b>	11.64885	0.978624	36.65353	183267.7	61.03945	305197.2	85.38562	426928.1
<b>700</b>	16.30839	0.699017	26.19024	130951.2	43.62499	218125	61.03945	305197.2
<b>1000</b>	23.2977	0.489312	18.33797	91689.87	30.55083	152754.2	42.75374	213768.7

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.β.**

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (19:00 απόγευμα)

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma$ ,  $\rho$**  $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=207.965\text{kW}$ Έγχυση από το δίκτυο για το πιο ευνοϊκό σενάριο:  $S=141.3821\text{ kVA}$  $I=204.06745\text{ A}$ 

$\sigma$ (Watt/ μήνα)	$\sum \gamma_{i,17} \cdot \sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=7\%$
<b>100</b>	2.39758	42.75262	1520.518	7602592	2447.57	12237850	3310.863	16554317
<b>300</b>	7.19274	14.25087	525.0001	2625000	864.7517	4323758	1196.529	5982644
<b>500</b>	11.9879	8.550524	317.2419	1586209	525.0001	2625000	729.8186	3649093
<b>700</b>	16.78306	6.107517	227.2922	1136461	376.9038	1884519	525.0001	2625000
<b>1000</b>	23.9758	4.275262	159.4686	797343	264.838	1324190	369.4593	1847297



**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.γ.**

ΑΠΡΙΛΙΟΣ (05:00 πρωί)

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma$ ,  $\rho$**  $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=48.954 \text{ kW}$ Έγγκυση από το δίκτυο για το πιο ευνοϊκό σενάριο:  $S= 39.0728 \text{ kVA}$  $I= 56.39667 \text{ A}$ 

$\sigma$ (Watt/ μήνα)	$\sum \gamma_{i,17} \cdot \sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=7\%$
<b>100</b>	2.32742	6.280499	233.6794	1168397	387.4397	1937198	539.5989	2697995
<b>300</b>	6.98226	2.0935	78.30116	391505.8	130.2747	651373.6	182.0673	910336.3
<b>500</b>	11.6371	1.2561	47.02986	235149.3	78.30116	391505.8	109.5071	547535.3
<b>700</b>	16.29194	0.897214	33.60783	168039.1	55.9712	279856	78.30116	391505.8
<b>1000</b>	23.2742	0.62805	23.53339	117667	39.20181	196009	54.85383	274269.1

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.δ.**

ΑΠΡΙΛΙΟΣ (19:00 απόγευμα)

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma$ ,  $\rho$**  $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=184.433 \text{ kW}$ Έγχυση από το δίκτυο για το πιο ευνοϊκό σενάριο:  $S=178.5482 \text{ kVA}$  $I=257.7121 \text{ A}$ 

$\sigma$ (Watt/ μήνα)	$\sum \gamma_{i,17} \cdot \sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=7\%$
<b>100</b>	2.3836	5.659507	210.7371	1053686	349.5812	1747906	487.1217	2435609
<b>300</b>	7.1508	1.886502	70.57727	352886.4	117.4442	587221	164.164	820820
<b>500</b>	11.918	1.131901	42.3863	211931.5	70.57727	352886.4	98.71511	493575.6
<b>700</b>	16.6852	0.808501	30.28817	151440.8	50.44629	252231.5	70.57727	352886.4
<b>1000</b>	23.2977	0.565951	21.20814	106040.7	35.33024	176651.2	49.43903	247195.1

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.ε.****ΙΟΥΛΙΟΣ (05:00 πρωί)****ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma$ ,  $\rho$**  $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=55.354 \text{ kW}$ Έγγυση από το δίκτυο για το πιο ευνοϊκό σενάριο:  $S= 45.9018 \text{ kVA}$  $I= 66.25354 \text{ A}$ 

$\sigma$ (Watt/ μήνα)	$\sum \gamma_{i,17} \cdot \sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho= 3 \%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho= 3 \%$	Κέρδος B (€) $\rho= 5 \%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho= 5 \%$	Κέρδος, B (€) $\rho= 7 \%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho= 7 \%$
<b>100</b>	2.32982	6.050901	225.2012	1126006	373.4538	1867269	520.2188	2601094
<b>300</b>	6.98946	2.016967	75.44589	377229.4	125.5322	627661	175.4504	877252.2
<b>500</b>	11.6491	1.21018	45.31318	226565.9	75.44589	377229.4	105.5179	527589.4
<b>700</b>	16.30874	0.864414	32.38054	161902.7	53.92872	269643.6	75.4458	377229.4
<b>1000</b>	23.2982	0.60509	22.67372	113368.6	37.7705	188852.5	52.85205	264260.3

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.στ.**

ΙΟΥΛΙΟΣ (19:00 απόγευμα)

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma$ ,  $\rho$**  $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=208.543 \text{ kW}$ Έγχυση από το δίκτυο για το πιο ευνοϊκό σενάριο:  $S= 139.5421 \text{ kVA}$  $I= 201.4116 \text{ A}$ 

$\sigma$ (Watt/ μήνα)	$\sum \gamma_{i,17} \cdot \sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=7\%$
<b>100</b>	2.39784	44.21884	1569.838	7849188	2524.022	12620110	3410.414	17052068
<b>300</b>	7.19352	14.73961	542.6755	2713378	893.5076	4467538	1235.826	6179130
<b>500</b>	11.9892	8.843768	328.002	1640010	542.6755	2713378	754.2081	3771041
<b>700</b>	16.78488	6.316977	235.0259	1175130	389.6623	1948312	542.6781	2713390
<b>1000</b>	23.9784	4.421884	164.9075	824537.3	273.8373	1369187	381.9674	1909837

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.ζ.****ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ (05:00 πρωί)****ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma$ ,  $\rho$**  $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=46.291 \text{ kW}$ Έγχυση από το δίκτυο για το πιο ευνοϊκό σενάριο:  $S= 39.6082 \text{ kVA}$  $I= 57.16951 \text{ A}$ 

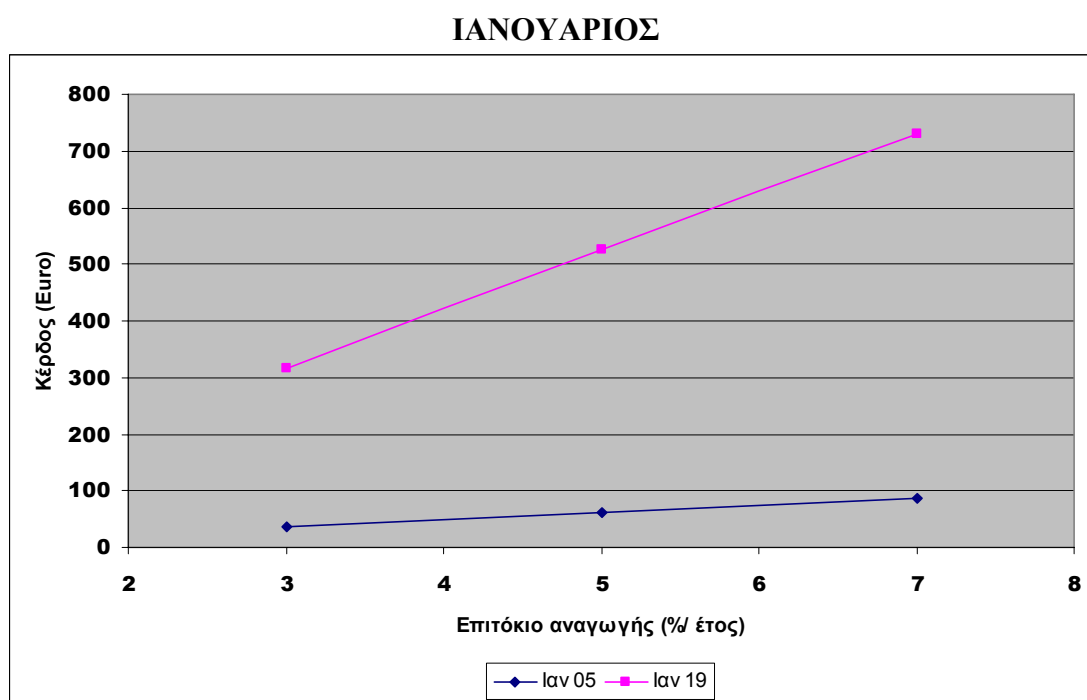
$\sigma$ (Watt/ μήνα)	$\sum \gamma_{i,17} \cdot \sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 M/Σ 400 kVA (€) $\rho=7\%$
<b>100</b>	2.32447	4.285738	159.8573	799286.4	265.4812	1327406	370.3534	1851767
<b>300</b>	6.97341	1.428579	53.47618	267380.9	89.02101	445105	124.4813	622406.5
<b>500</b>	11.62235	0.857148	32.10862	160543.1	53.47618	267380.9	74.81323	374066.1
<b>700</b>	16.27129	0.612248	22.94175	114708.8	38.21675	191083.8	53.47618	267380.9
<b>1000</b>	23.2447	0.428574	16.06291	80314.56	26.76196	133809.8	37.45337	187266.9

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.η.****ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ (19:00 απόγευμα)****ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma$ ,  $\rho$**  $P_{\text{συνολικό φορτίο, min}}=174.397 \text{ kW}$ Έγγυση από το δίκτυο για το πιο ευνοϊκό σενάριο:  $S= 105.7761 \text{ kVA}$  $I= 152.6747 \text{ A}$ 

$\sigma$ (Watt/ μήνα)	$\sum \gamma_{i,17} \cdot \sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho= 3 \%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€) $\rho= 3 \%$	Κέρδος B (€) $\rho= 5 \%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€) $\rho= 5 \%$	Κέρδος, B (€) $\rho= 7 \%$	Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€) $\rho= 7 \%$
<b>100</b>	2.38218	43.44739	1543.911	7719554	2483.855	12419275	3358.141	16790707
<b>300</b>	7.14654	14.48246	533.3783	2666892	878.3849	4391925	1215.164	6075819
<b>500</b>	11.9109	8.689478	322.3415	1611708	533.3783	2666892	741.3808	3706904
<b>700</b>	16.67526	6.20677	230.9574	1154787	382.9499	1914750	533.3783	2666892
<b>1000</b>	23.8218	4.344739	162.0461	810230.3	269.103	1345515	375.3876	1876938

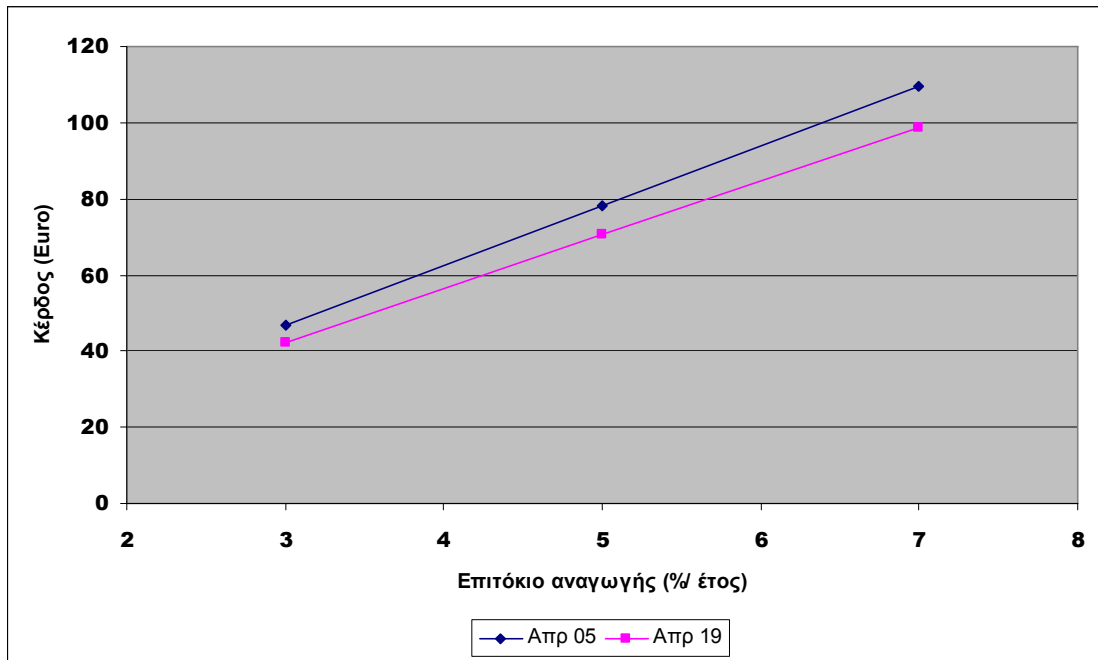
## 3.3.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για τη Χαμηλή Τάση

Στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε πώς επηρεάζεται το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης για τις διαφορετικές τιμές επιτοκίου αναγωγής που έχουμε υποθέσει, και για  $\sigma = 500$  Watt/ μήνα. Όλα αναφέρονται στο πιο ευνοϊκό σενάριο διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής για κάθε μήνα:



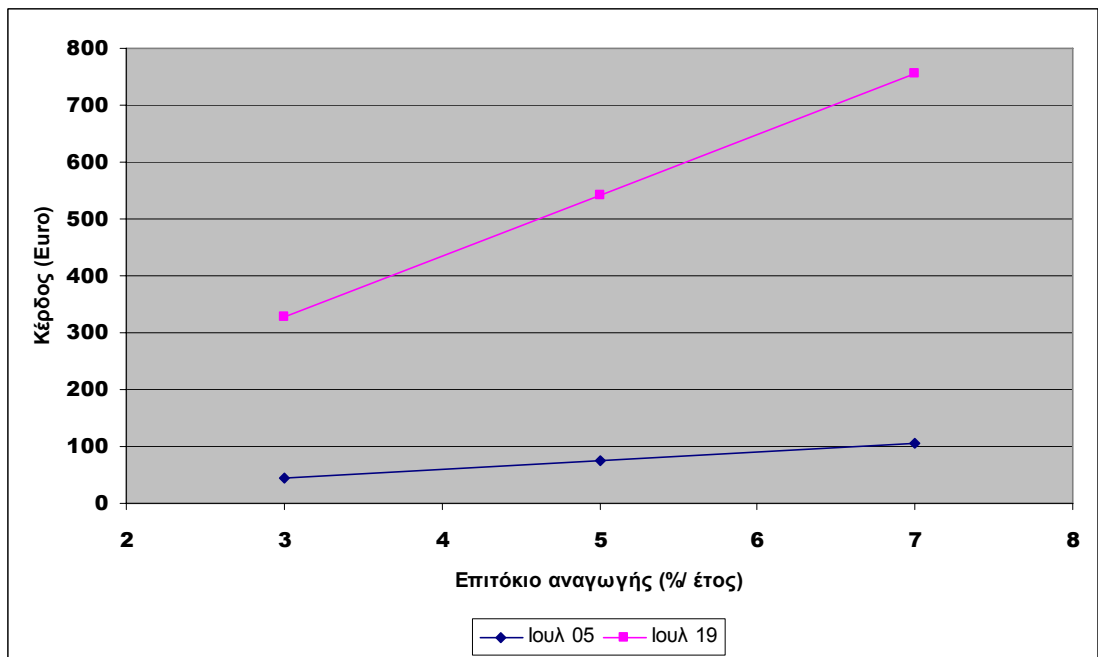
Σχήμα 3.3.α: Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος, Ιανουάριος

**ΑΠΡΙΛΙΟΣ**



Σχήμα 3.3.β: Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος, Απρίλιος

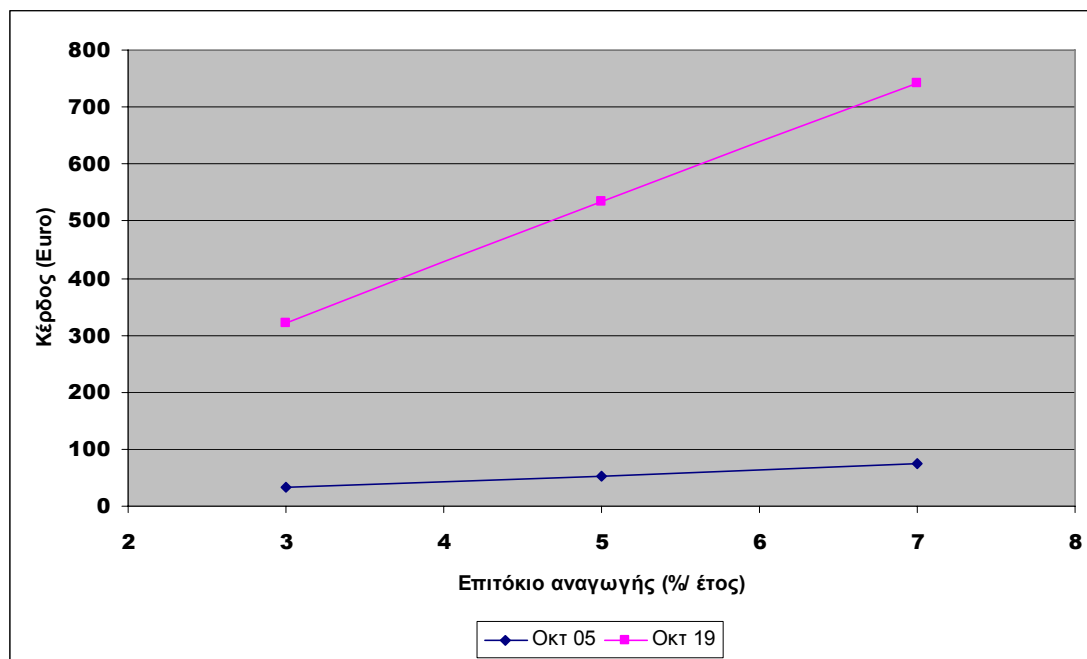
**ΙΟΥΛΙΟΣ**



Σχήμα 3.3.γ: Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος, Ιούλιος



## ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ

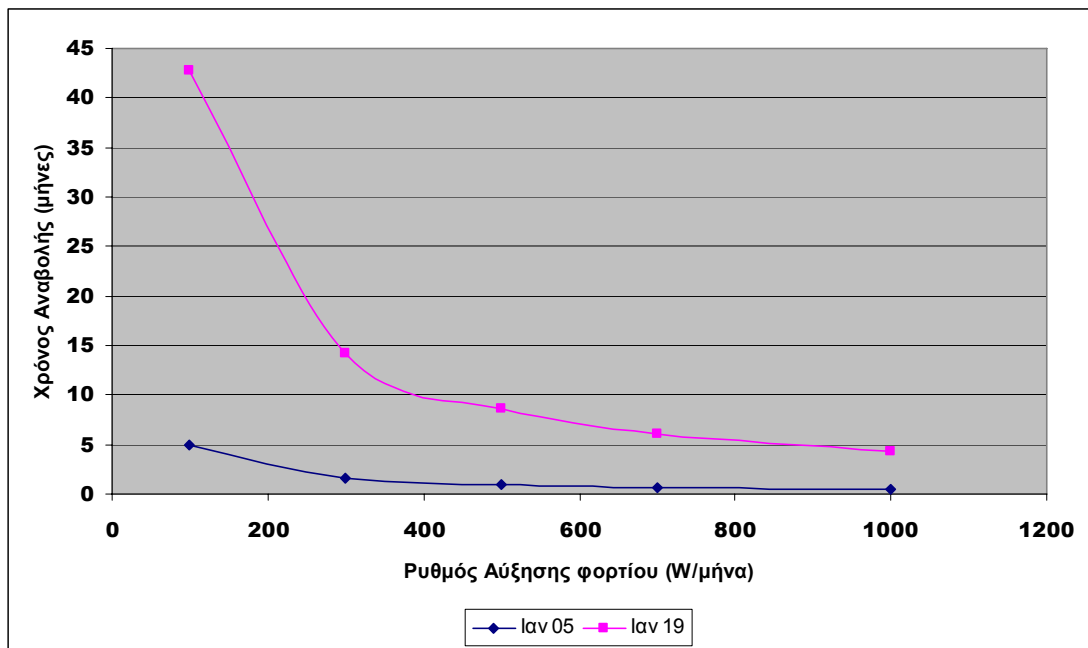


Σχήμα 3.3.δ: Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος, Οκτώβριος

Όπως είναι φανερό από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, αλλά και αναμενόμενο από τον τύπο 2.75 του προηγούμενου κεφαλαίου για τις τάξεις μεγέθους τιμών που έχουμε (το  $e$  είναι σε κάθε περίπτωση υψωμένο σε τιμή αρκετά μικρότερη από τη μονάδα), το επιτόκιο αναγωγής επηρεάζει ουσιαστικά αναλογικά το κέρδος από τη αναβολή της επένδυσης. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο είναι το επιτόκιο αναγωγής τόσο μεγαλύτερο θα είναι το όφελος, αφού η διαφορά της αξίας της χρηματικής μονάδας τώρα και στο μέλλον θα είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα να αυξάνει και το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης.

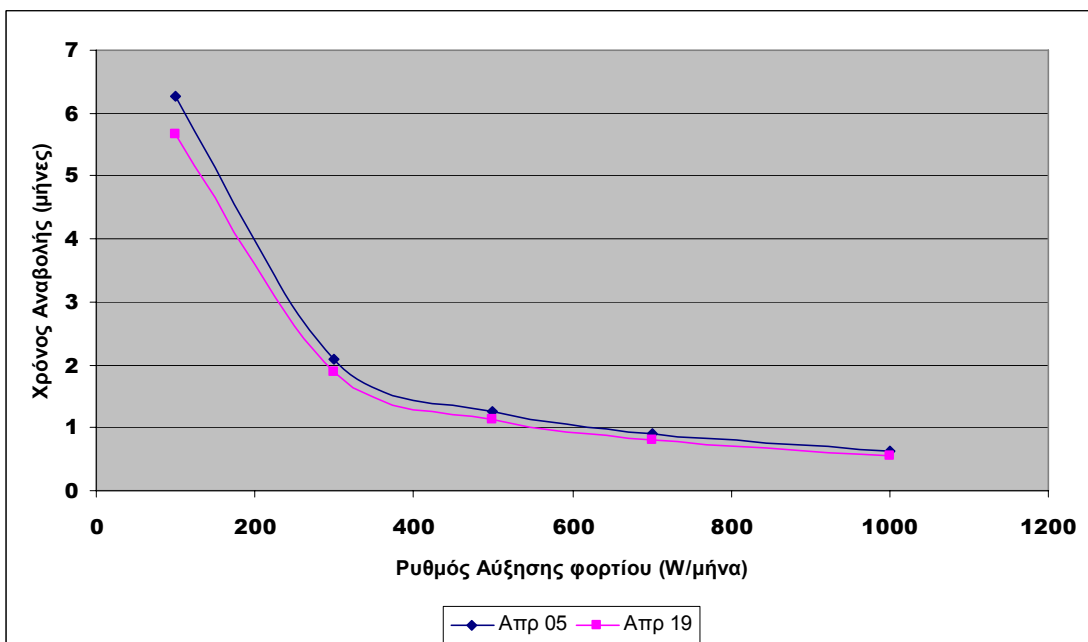
Ο χρόνος αναβολής της επένδυσης και το κέρδος από αυτή τη διαδικασία επηρεάζεται επίσης από το ρυθμό αύξησης του φορτίου. Παίρνοντας τα δεδομένα από τους προηγούμενους πίνακες μπορούμε να δούμε στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις αυτή την επιρροή. Τα αποτελέσματα είναι για  $\rho = 5\%$  / έτος:

## ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ



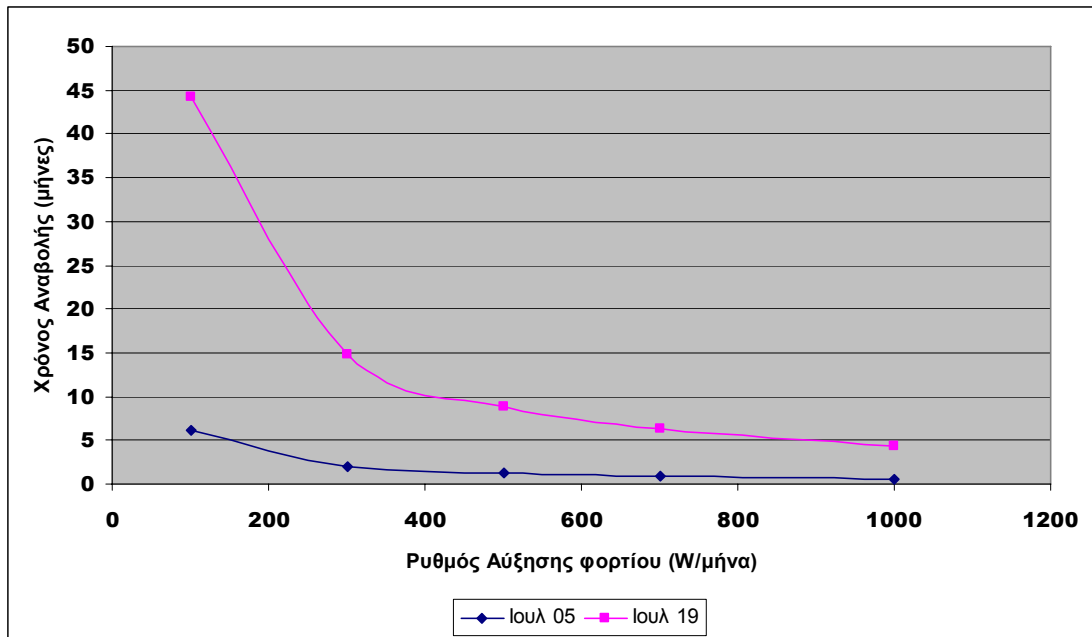
Σχήμα 3.3.ε: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης, Ιανουάριος

## ΑΠΡΙΛΙΟΣ



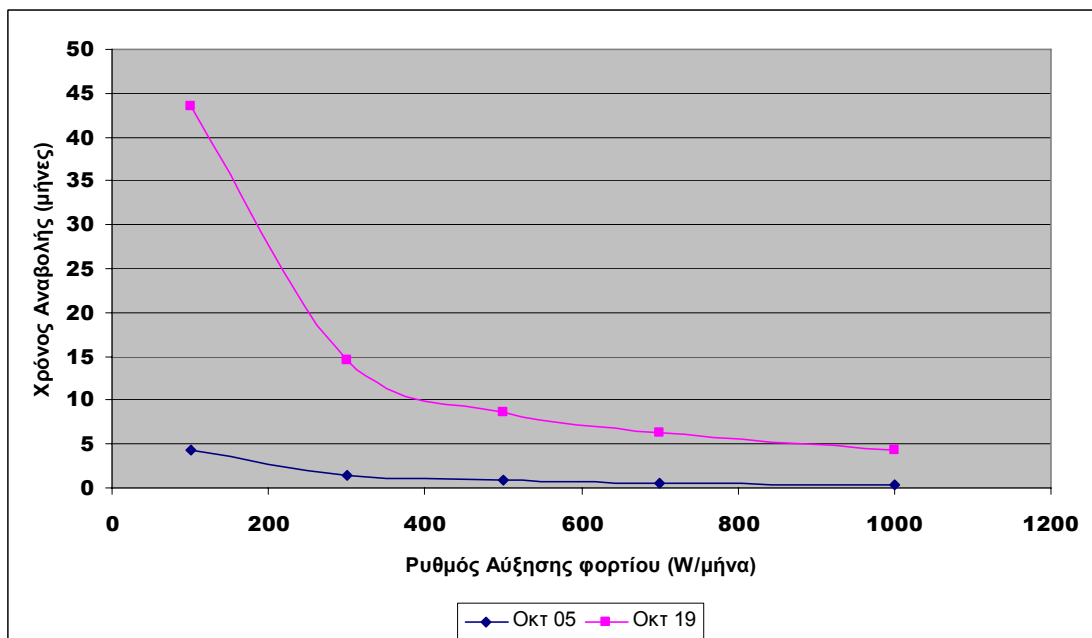
Σχήμα 3.3.στ: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης, Απρίλιος

## ΙΟΥΛΙΟΣ



Σχήμα 3.3.ζ: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης, Ιούλιος

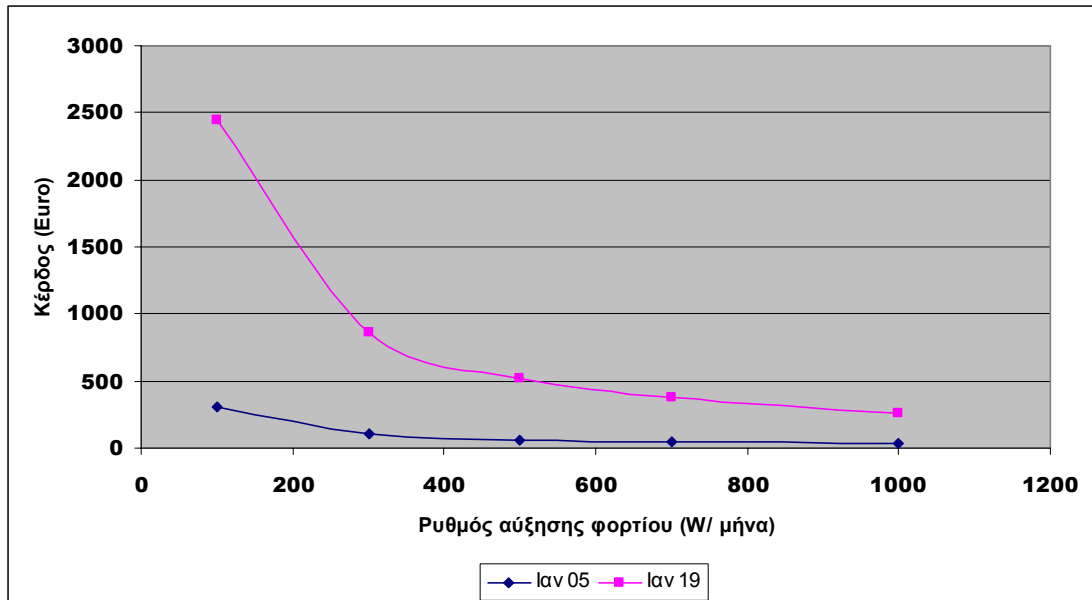
## ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



Σχήμα 3.3.η: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης, Οκτώβριος

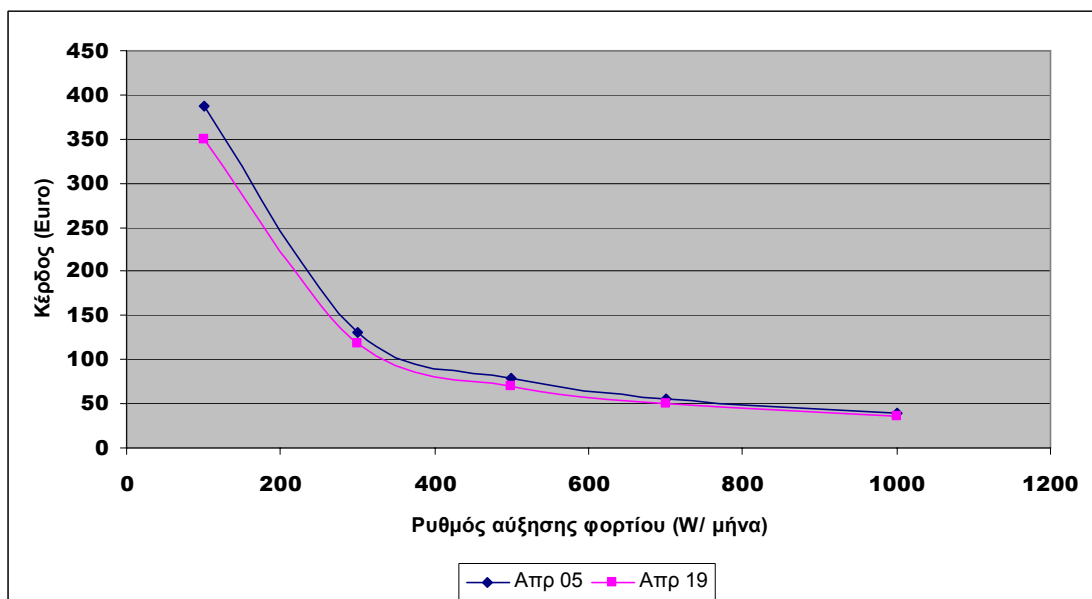
Το κέρδος ως προς το ρυθμό αύξησης φορτίου:

### ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ



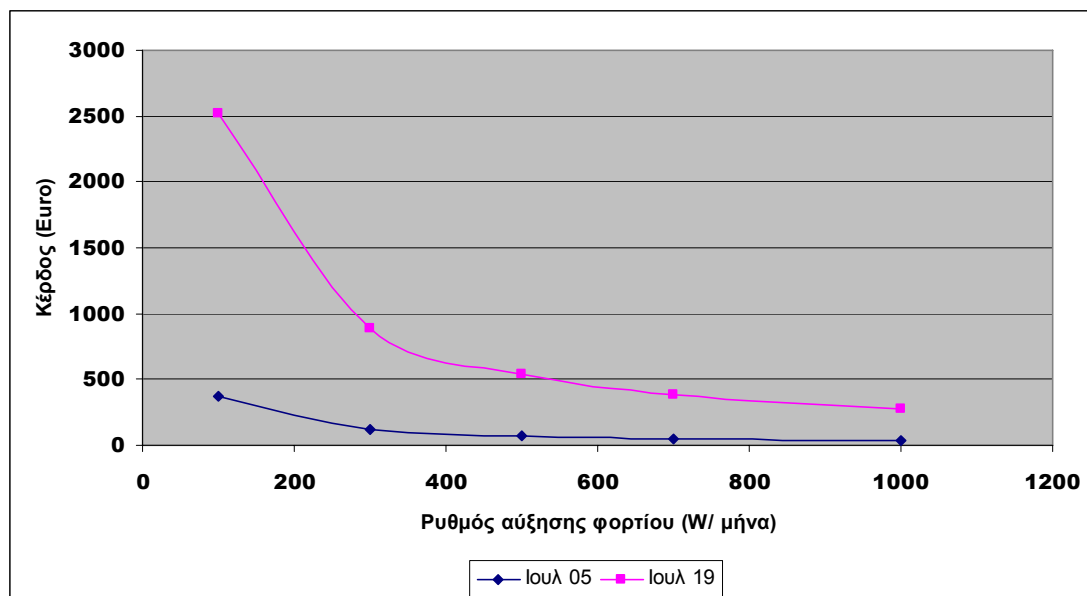
Σχήμα 3.3.θ: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος, Ιανουάριος

### ΑΠΡΙΛΙΟΣ



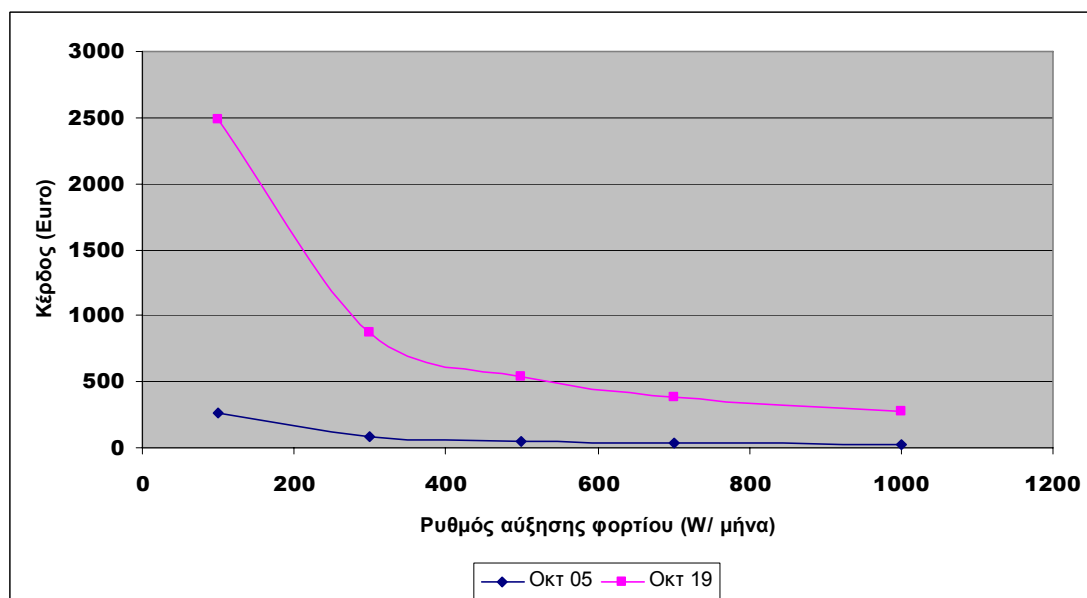
Σχήμα 3.3.ι: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος, Απρίλιος

## ΙΟΥΛΙΟΣ



Σχήμα 3.3.α: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος, Ιούλιος

## ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



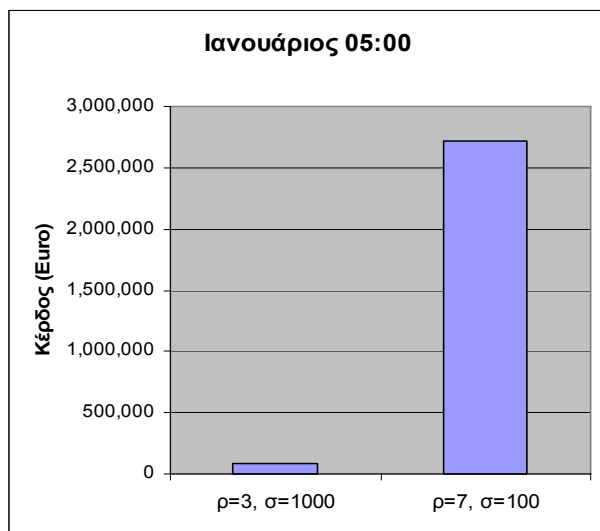
Σχήμα 3.3.β: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος, Οκτώβριος

Όπως είναι φανερό από τις γραφικές παραστάσεις και τον τύπο 2.73 του προηγούμενου κεφαλαίου η αύξηση του ρυθμού αύξησης του φορτίου έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου αναβολής της επένδυσης όπως και του κέρδους

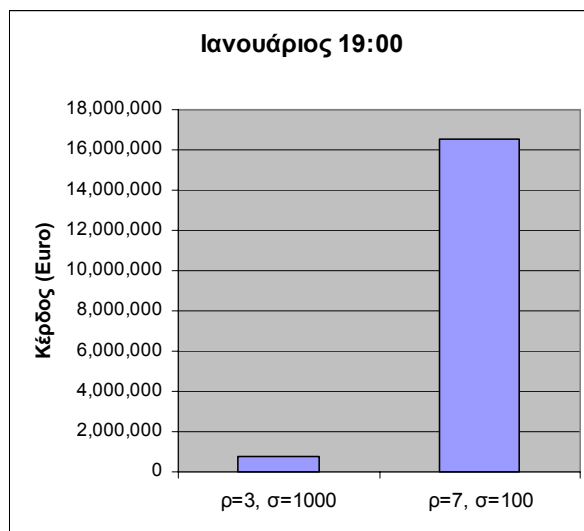
από την αναβολή αυτή. Μεγάλη τιμή του ρυθμού αύξησης του φορτίου θα έχει σαν αποτέλεσμα την γρήγορη επιστροφή του ρεύματος στην τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και κατά συνέπεια μικρότερο χρόνο αναβολής της επένδυσης. Συνέπεια αυτού θα είναι τελικά και η μείωση του κέρδους από την αναβολή της επένδυσης.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως το ευνοϊκότερο σενάριο θα ήταν μικρός ρυθμός αύξησης του φορτίου και μεγάλο επιτόκιο αναγωγής, ενώ μεγάλος ρυθμός αύξησης φορτίου και μικρό επιτόκιο αναγωγής θα έχει τα αντίθετα αποτελέσματα. Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών ακραίων περιπτώσεων και η επίδραση τους στο συνολικό κέδρος από την αναβολή της επένδυσης αντικατάστασης 5000 μετασχηματιστών 400 kVA φαίνεται εποπτικά παρακάτω ( Οι μικρές τιμές αναφέρονται σε  $\rho=3\%$  / έτος και  $\sigma=1000$  W/ μήνα και οι μεγάλες σε  $\rho=7\%$  / έτος και  $\sigma=100$  W/ μήνα) :

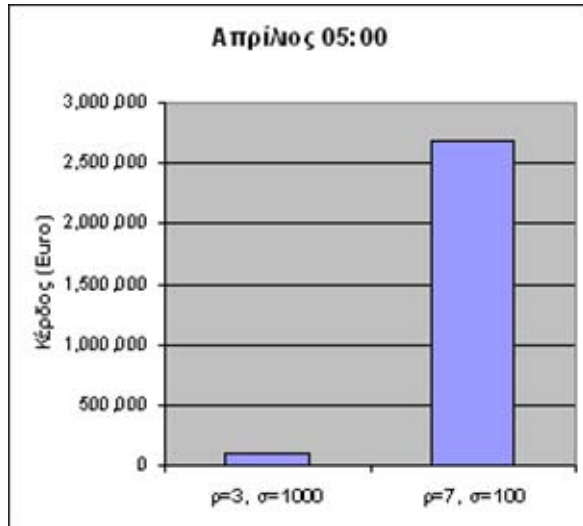
### 3.3.3. Σύγκριση ακραίων τιμών $\sigma$ , $\rho$



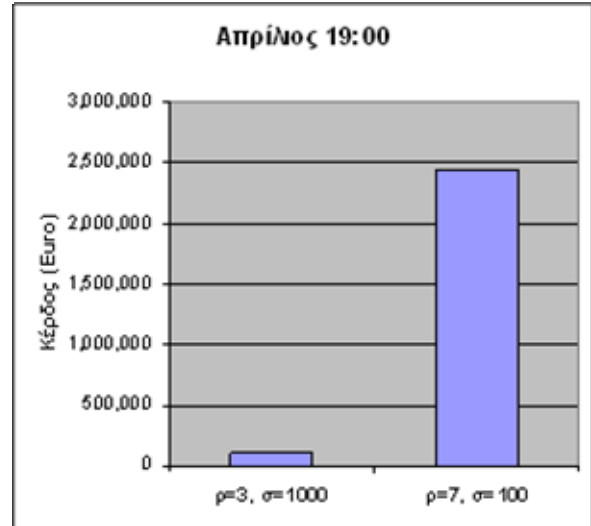
**Σχήμα 3.3.γ:** Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma$ ,  $\rho$ , Ιανουάριος 05:00



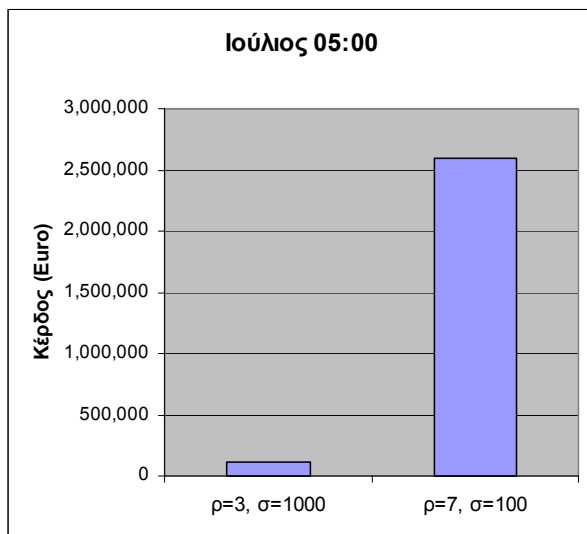
**Σχήμα 3.3.δ:** Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma$ ,  $\rho$ , Ιανουάριος 19:00



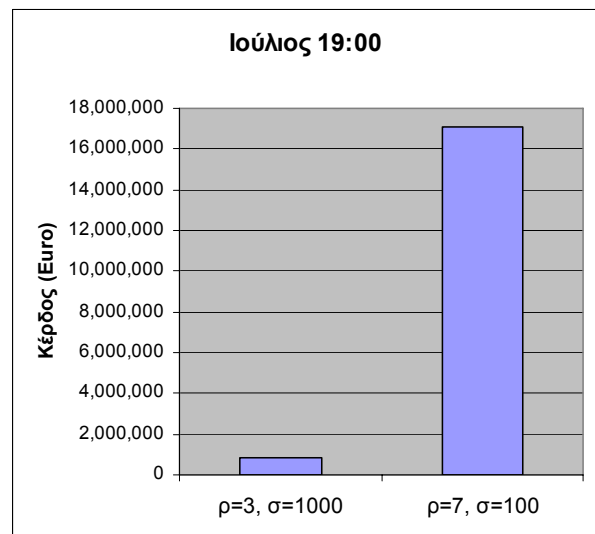
Σχήμα 3.3.ιε: Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma, \rho$ , Απρίλιος 05:00



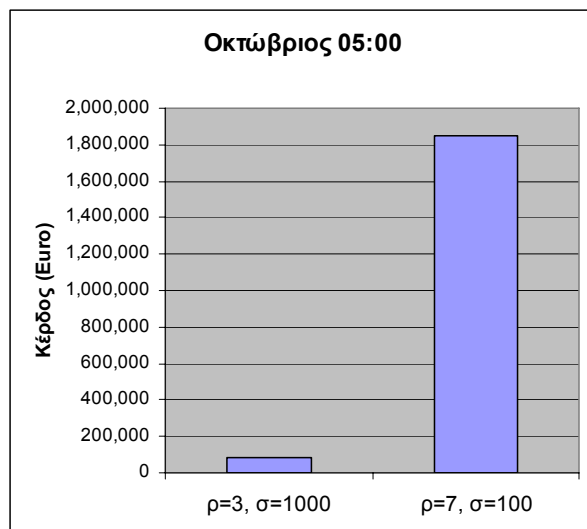
Σχήμα 3.3.ιστ: Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma, \rho$ , Απρίλιος 19:00



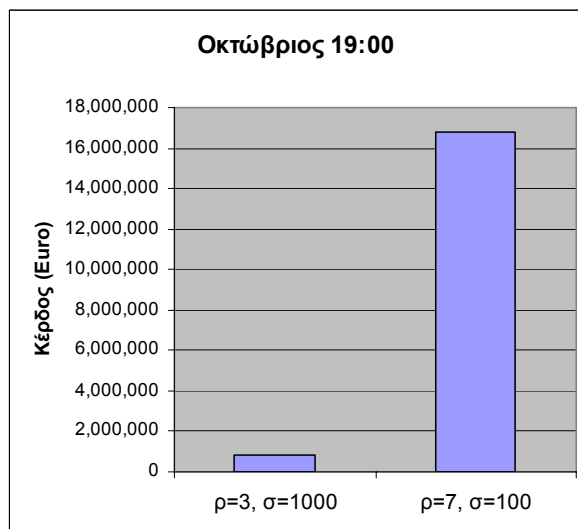
Σχήμα 3.3.ιζ: Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 05:00



Σχήμα 3.3.ιη: Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma, \rho$ , Ιούλιος 19:00



**Σχήμα 3.3.ιθ:** Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma, \rho$ , Οκτώβριος 05:00



**Σχήμα 33.κ:** Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma, \rho$ , Οκτώβριος 19:00

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι για κάθε μήνα και ώρα της ημέρας το κέρδος στην περίπτωση που έχουμε επιτόκιο αναγωγής 7 %/ έτος και ρυθμό αύξησης φορτίου 100 W/ μήνα είναι πάνω από 20 φορές μεγαλύτερο σε σχέση με την περίπτωση που έχουμε επιτόκιο αναγωγής 3 %/ έτος και ρυθμό αύξησης φορτίου 1000 W/ μήνα. Έτσι, γίνεται φανερό πως αυτοί οι δύο παράγοντες παίζουν καταλυτικό ρόλο στα τελικά οφέλη που θα αποκομίσουμε από την αναβολή της επένδυσης.

### 3.4. ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

#### 3.4.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων

Ο χρόνος αναβολής της επένδυσης μπορεί να επηρεαστεί επίσης από το συντελεστή ισχύος υπό τον οποίο λειτουργούν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής. Για διάφορες τιμές του συντελεστή ισχύος και για την ελάχιστη δυνατή, τη μέγιστη δυνατή και τη μέση τιμή αυτών των δύο παραγωγών, όπως αναφέρονται στο σχήμα 4.2 έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:



**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.α.****ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ (05:00 πρωί)  
ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ**P<sub>συνολικό φορτίο, min</sub>=46.291 kW

<i>Παραγωγή</i>	<i>Συντελεστής Ισχύος</i>	<i>Χρόνος Αναβολής (Μήνες)</i>	<i>Κέρδος B (€)</i>	<i>Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€)</i>
min DG	0.9 επαγωγικό	0.691237	43.14017	215700.8
	0.95 επαγωγικό	0.69531	43.39397	216969.9
	1	0.69954	43.6576	218288
	0.95 χωρητικό	0.697819	43.55036	217751.8
	0.9 χωρητικό	0.694923	43.36984	216849.2
avg DG	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
Max DG	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-

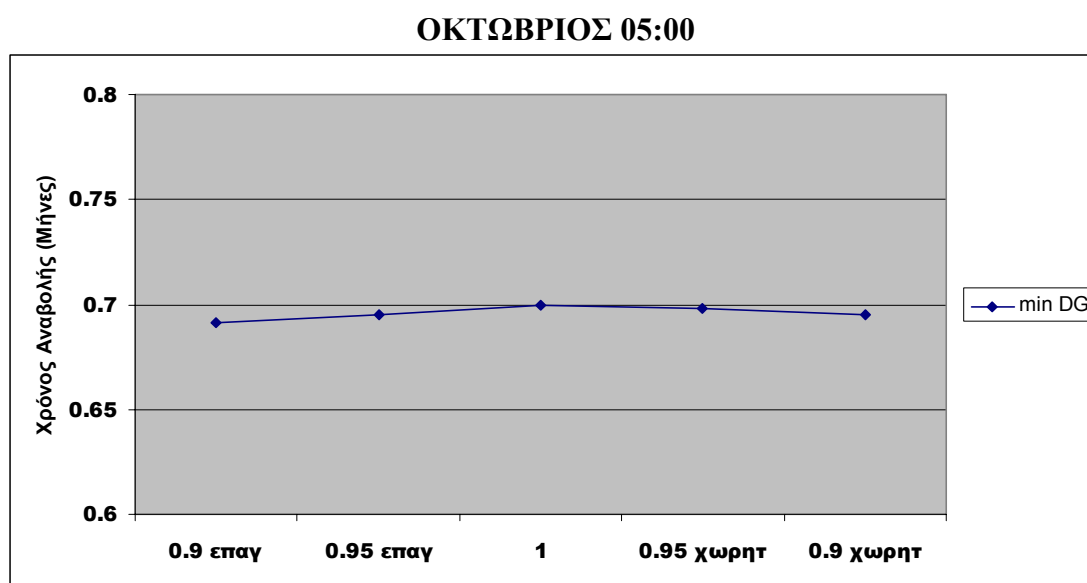
**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.β.****ΙΟΥΛΙΟΣ (19:00 απόγευμα)  
ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ**P<sub>συνολικό φορτίο, min</sub>=208.543 kW

<i>Παραγωγή</i>	<i>Συντελεστής Ισχύος</i>	<i>Χρόνος Αναβολής (Μήνες)</i>	<i>Κέρδος B(€)</i>	<i>Συνολικό Κέρδος από αντικ/ση 5000 Μ/Σ 400 kVA (€)</i>
min DG	0.9 επαγωγικό	0.708097	44.19083	220954.2
	0.95 επαγωγικό	0.711792	44.42111	222105.6
	1	0.718633	44.84738	224236.9
	0.95 χωρητικό	0.724148	45.19102	225955.1
	0.9 χωρητικό	0.726292	45.32461	226623
avg DG	0.9 επαγωγικό	9.225076	565.6269	2828135
	0.95 επαγωγικό	9.434357	578.2083	2891041
	1	9.653709	591.3832	2956916
	0.95 χωρητικό	9.571015	586.4178	2932089
	0.9 χωρητικό	9.428194	577.8379	2889189
Max DG	0.9 επαγωγικό	16.6427	1004.923	5024616
	0.95 επαγωγικό	17.53434	1056.821	5284104
	1	18.38069	1105.904	5529520
	0.95 χωρητικό	17.76744	1070.357	5351783
	0.9 χωρητικό	-	-	-

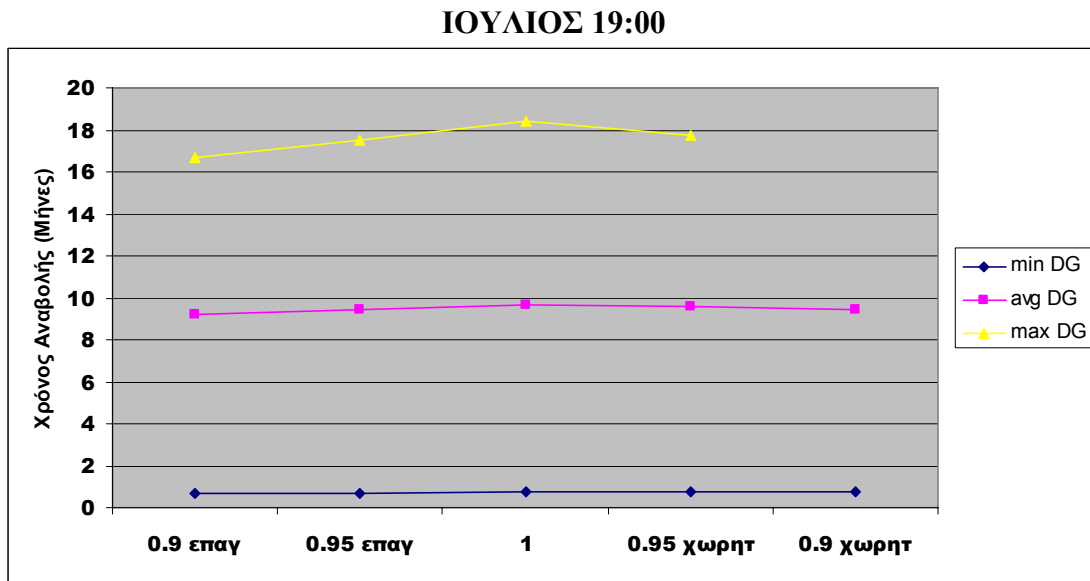
Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει υπολογισμός του χρόνου αναβολής, η διεσπαρμένη παραγωγή είχε τόσο μεγάλη τιμή που η πορεία του ρεύματος αντιστρεφόταν και δεν είχε νόημα ο υπολογισμός. Γενικά πάντως, οι τιμές παραγωγής που υπολογίστηκαν στο παραπάνω σενάριο είναι αυτές που οι μονάδες μπορούν κατ' ελάχιστο ή κατά μέγιστο να παράγουν ανεξάρτητα από τις συνθήκες του δικτύου, και ξεπερνούν πιθανόν τα όρια λειτουργίας που επιβάλλονται από το δίκτυο, επομένως τα τελευταία αυτά αποτελέσματα είναι απλώς ενδεικτικά.

### 3.4.2. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων

Η επιρροή του συντελεστή ισχύος στο χρόνο αναβολής της επένδυσης για τις διάφορες διεισδύσεις διεσπαρμένης παραγωγής φαίνεται εποπτικά στη συνέχεια:



Σχήμα 3.4.α: Χρόνος Αναβολής- Συντελεστής Ισχύος, Οκτώβριος 05:00



**Σχήμα 3.4.β:** Χρόνος Αναβολής- Συντελεστής Ισχύος, Ιούλιος 19:00

Είναι φανερό πως ο συντελεστής ισχύος υπό τον οποίο λειτουργούν οι μονάδες παραγωγής έχει μια επιρροή στο χρόνο αναβολής της επένδυσης, η επιρροή αυτή όμως είναι πολύ μικρή.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ

#### 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή της μεθόδου υπολογισμού του χρόνου αναβολής της επένδυσης στην αναβάθμιση στοιχείων του δικτύου από την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και του κέρδους από την αναβολή αυτή, για τη μέση τάση.

Το δίκτυο που χρησιμοποιήσαμε για τους υπολογισμούς φαίνεται στο σχήμα 4.1.α, ενώ για κάθε γραμμή του δικτύου θεωρούμε ότι ισχύει

$$\begin{aligned} R &= 0.823\Omega / km \\ X &= 0.150\Omega / km \end{aligned} \quad (4.1)$$

Το δίκτυο αυτό αποτελείται από 64 ζυγούς χαμηλής τάσης που συνδέονται μέσω μετασχηματιστή με το δίκτυο μέσης τάσης. Κάθε ένας από τους ζυγούς χαμηλής τάσης είναι ένα δίκτυο όπως αυτό που αναλύθηκε στη μελέτη της χαμηλής τάσης (σχήμα 3.1.α). Στην περίπτωση της μελέτης της μέσης τάσης το δίκτυο χαμηλής τάσης αντιμετωπίστηκε ως ένα φορτίο που συνδέεται σε κάθε ζυγό του δικτύου μέσης τάσης με τιμή την ζητούμενη εγχεόμενη ισχύ από το δίκτυο χαμηλής τάσης για τους προς μελέτη μήνες και ώρες.

Η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής γίνεται στη χαμηλή τάση και αντιμετωπίζεται από το δίκτυο της μέσης τάσης σαν ένα αρνητικό φορτίο, με τιμή ίση με τη συνολική διεσπαρμένη διείσδυση του δικτύου χαμηλής τάσης που συνδέεται στον αντίστοιχο ζυγό μέσης τάσης.

Οι περιπτώσεις που εξετάζονται είναι αυτή της μέγιστης και ελάχιστης δυνατής διείσδυσης παραγωγής όπως αυτές προέκυψαν από τη μελέτη που έγινε στη χαμηλή τάση μετά την εφαρμογή των διαφόρων πιθανών σεναρίων (Πίνακας 4.1.α).

Η ανάλυση έγινε ως προς το ρεύμα που διαρρέει το ζυγό 1. Υπολογίσαμε δηλαδή το κέρδος που αποκομίζουμε από την αναβολή της αντικατάστασης του μετασχηματιστή που βρίσκεται στο ζυγό αυτό. Το κόστος της αγοράς ενός μετασχηματιστή 50 MVA εκτιμήθηκε πως θα είναι περίπου 800000 €.

Έγινε η υπόθεση ότι οι μονάδες λειτουργούν με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος.

Η εφαρμογή έγινε για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο, για τις ώρες 05:00 το πρωί και 19:00 το απόγευμα.

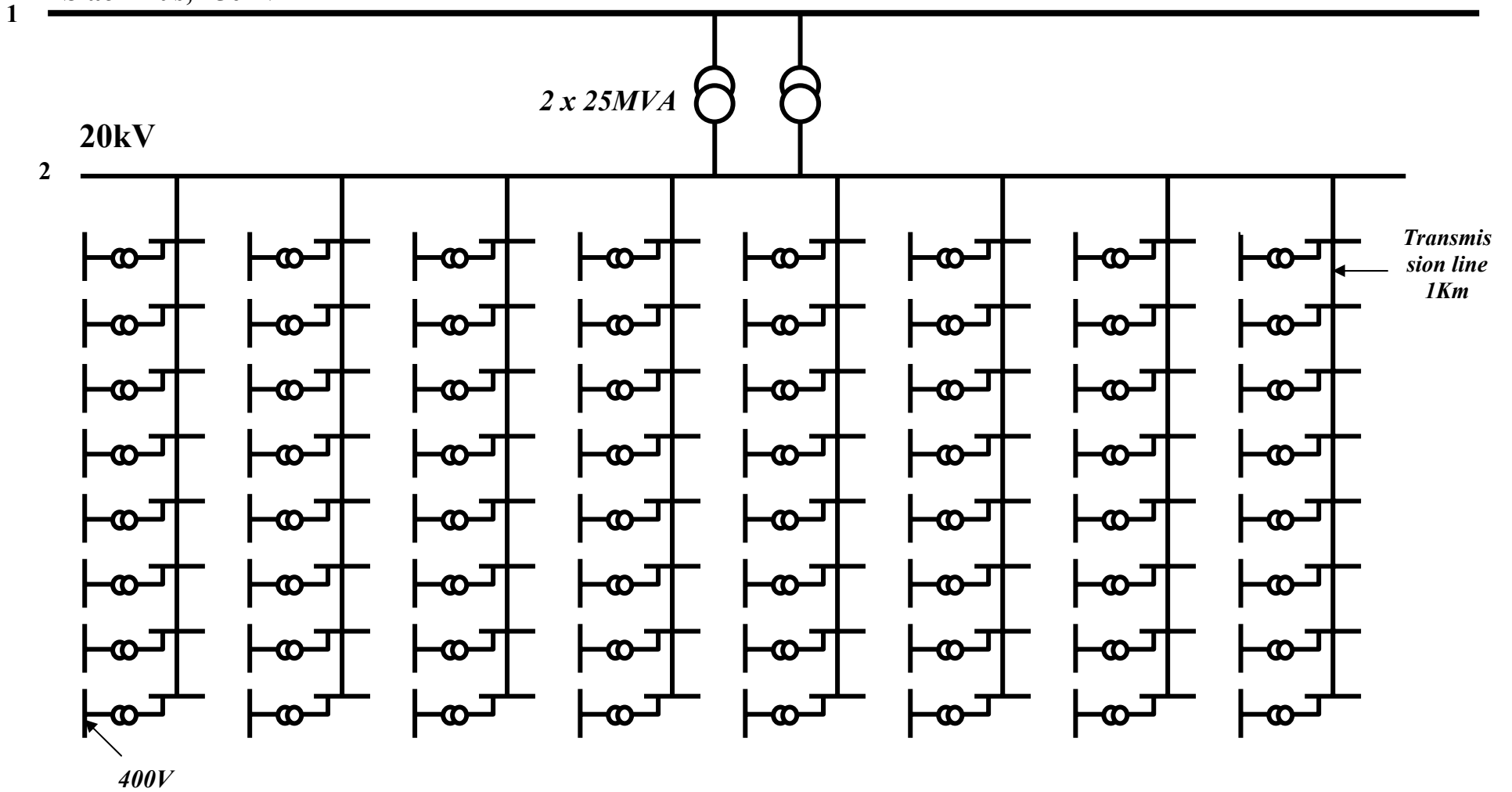
**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.α.**  
**ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ DG ΕΝΟΣ ΖΥΓΟΥ**

Μήνας / Ώρα	Φορτίο ενός ζυγού (kW)	Μέγιστη Διείσδυση ενός ζυγού (kW)	Ελάχιστη Διείσδυση ενός ζυγού (kW)
Ιανουάριος 05:00	55.201	7.840	0.350
Ιανουάριος 19:00	207.965	68.83	31.50
Απρίλιος 05:00	48.954	10.07	0
Απρίλιος 19:00	184.433	9.020	9.020
Ιούλιος 05:00	55.354	9.700	5.630
Ιούλιος 19:00	208.543	71.24	0.620
Οκτώβριος 05:00	46.291	6.860	0
Οκτώβριος 19:00	174.397	70.12	0

Για τη μελέτη του δικτύου έγινε η υπόθεση ότι το φορτίο σε κάθε ζυγό αυξάνει με ρυθμό 4.8 kW/ μήνα. Ο ρυθμός αυτός προέκυψε από τον αντίστοιχο ρυθμό αύξησης των ζυγών χαμηλής τάσης. Συγκεκριμένα, κάθε ζυγός στο δίκτυο χαμηλής τάσης θεωρήθηκε πως έχει ρυθμό αύξησης 0.3 kW/ μήνα και το δεδομένο αυτό αφορά τους 16 ζυγούς από τους οποίους αποτελείται (εξαιρείται ο ζυγό ταλάντωσης), επομένως η συνολική αύξηση του φορτίου θα είναι 4.8 kW/ μήνα. Υποθέσαμε ότι αυτός ο ρυθμός αύξησης θα ισχύει για όλους τους ζυγούς του δικτύου μέσης τάσης εκτός από το ζυγό ταλάντωσης. Έγινε επίσης η υπόθεση ότι το επιτόκιο αναγωγής είναι  $\rho = 5\%$  / έτος.

Slack Bus, 150kV

Σχήμα 4.1.α: Δίκτυο Μέσης Τάσης



## 4.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ $\sigma = 4.8 \text{ kW/ Μήνα}$ και $\rho = 5 \% / \text{χρόνο}$

### 4.2.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για τη Μέση Τάση

Στους επόμενους πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το χρόνο αναβολής της επένδυσης και το κέρδος από την αναβολή αυτή. Παράλληλα παρουσιάζονται η έγχυση ισχύος και ρεύματος από το δίκτυο υψηλής τάσης, όπως και η μείωση στην έγχυση του ρεύματος από την τοποθέτηση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Μπορούμε να δούμε επίσης το συνολικό όφελος από την αναβολή της αντικατάστασης 100 τέτοιων μετασχηματιστών.

Για τον μήνα Ιανουάριο, τόσο για την ώρα 05:00 το πρωί, όσο και για 19:00 το απόγευμα, παρουσιάστηκαν ενδεικτικά, αναλυτικά, οι τιμές της ευαισθησίας του ρεύματος του ζυγού 1 ως προς τη μεταβολή του φορτίου όλων των ζυγών.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.α.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (05:00 πρωί)  
 $\sigma_i = 4800 \text{ Watt/Μήνα}$ ,  $\rho = 5 \% / \text{χρόνο}$

<b>Υπολογισμός της ευαισθησίας (<math>\gamma_{i1}</math>) του ρεύματος <math>I_1</math>, στο ζυγό 1 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό <math>i</math> (<math>A/kW</math>)</b>			
<b>Ζυγός (<math>i</math>)</b>	<b><math>\gamma_{i1}</math> (<math>A/kVA</math>)</b>	<b><math>\sigma_i</math> (<math>Watt/Month</math>)</b>	<b><math>\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \cdot dt</math> (A)</b>
2	0.0289	4800	<b>18.0216·dt</b>
3	0.0289	4800	
4	0.029	4800	
5	0.029	4800	
6	0.0291	4800	
7	0.0291	4800	
8	0.0291	4800	
...	...	...	
123	0.0291	4800	
124	0.0291	4800	
125	0.0291	4800	
126	0.0292	4800	
127	0.0292	4800	
128	0.0292	4800	
129	0.0292	4800	
130	0.0292	4800	



**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.β.**

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
 $\sigma_i=4800\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\ \%/ \text{χρόνο}$

<b>Υπολογισμός της ευαισθησίας(<math>\gamma_{i1}</math>) του ρεύματος <math>I_1</math>, στο ζυγό 1 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό <math>i</math> (<math>A/kW</math>)</b>			
<b>Ζυγός (<math>i</math>)</b>	<b><math>\gamma_{i1}</math> (<math>A/kVA</math>)</b>	<b><math>\sigma_i</math> (<math>Watt/Month</math>)</b>	<b><math>\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i\cdot dt</math> (<math>A</math>)</b>
2	0.0291	4800	<b>18.6178·dt</b>
3	0.0293	4800	
4	0.0295	4800	
5	0.0297	4800	
6	0.0298	4800	
7	0.0299	4800	
8	0.03	4800	
...	...	...	
123	0.0298	4800	
124	0.03	4800	
125	0.0302	4800	
126	0.0304	4800	
127	0.0305	4800	
128	0.0306	4800	
129	0.0306	4800	
130	0.0307	4800	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.γ.****ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ** $\sigma_i=4800\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\%$ / χρόνο**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**

ΣΕΝΑΡΙΑ		<u>ΖΥΓΟΣ 1</u>		Διαφορά Ρευμάτων (A) $ I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} $	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€)	Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 100 Μ/Σ (€)
		Έγχυση από το δίκτυο					
		S(MVA)	I(A)				
<b>05:00 πρωί</b>							
$\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \text{ dt}$ (A/ μήνα)	<i>Χωρίς DG</i>	3.5713	103.0943	0	0	0.0	0
18.0216	<i>max DG</i>	3.0647	88.4693	14.625	0.81152617	2700.5	270051.9
	<i>min DG</i>	3.5487	102.4409	0.6534	0.03625649	120.8	12084.58
<b>19:00 απόγευμα</b>							
$\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \text{ dt}$ (A/ μήνα)	<i>Χωρίς DG</i>	13.927	402.046	0	0	0.0	0
18.6178	<i>max DG</i>	9.3406	269.6402	132.4058	7.111801	23358.2	2335821
	<i>min DG</i>	11.818	341.1426	60.9034	3.271253	10830.2	1083020

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.δ.**

ΑΠΡΙΛΙΟΣ

 $\sigma_i=4800\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\ \%/ \text{χρόνο}$ **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**

ΣΕΝΑΡΙΑ		<u>ΖΥΓΟΣ 1</u>		Διαφορά Ρευμάτων (A) $ I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} $	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€)	Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 100 Μ/Σ (€)
		Έγχυση από το δίκτυο					
		S(MVA)	I(A)				
<b>05:00 πρωί</b>							
$\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \text{ dt}$ (A/ μήνα)	<i>Χωρίς DG</i>	3.1631	91.3122	0	0	0.0	0
18.0101	<i>max DG</i>	2.5134	72.5551	18.7571	1.041478	3464.1	346407.1
	<i>min DG</i>	3.1631	91.3122	0	0	0.0	0
<b>19:00 απόγευμα</b>							
$\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \text{ dt}$ (A/ μήνα)	<i>Χωρίς DG</i>	12.26	353.9293	0	0	0.0	0
18.5141	<i>max DG</i>	11.676	337.0703	16.859	0.910604	3029.6	302959.6
	<i>min DG</i>	11.676	337.0703	16.859	0.910604	3029.6	302959.6

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.ε.****ΙΟΥΛΙΟΣ** $\sigma_i=4800\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\ \%/ \text{χρόνο}$ 

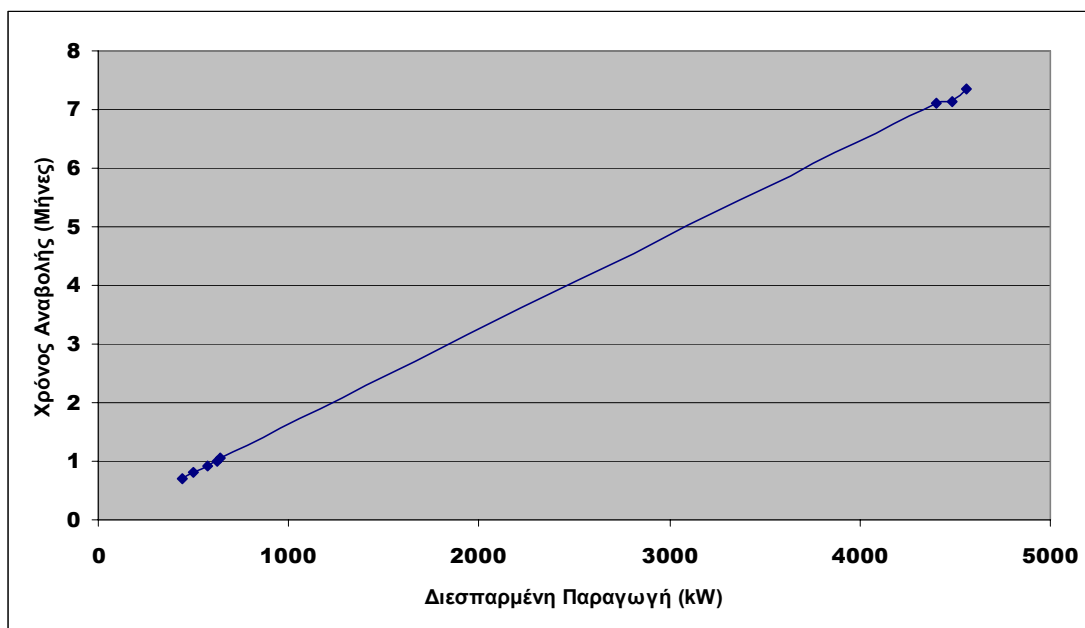
<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ</b>							
<b>ΣΕΝΑΡΙΑ</b>		<b><u>ΖΥΓΟΣ 1</u></b>		<b>Διαφορά Ρευμάτων (A) <math> I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} </math></b>	<b>Χρόνος αναβολής, <math>\tau</math> (Μήνες)</b>	<b>Κέρδος, B (€)</b>	<b>Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 100 Μ/Σ (€)</b>
		<b>Έγχυση από το δίκτυο</b>					
		<b>S(MVA)</b>	<b>I(A)</b>				
<b>05:00 πρωί</b>							
<b><math>\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \text{ dt}</math> (A/ μήνα)</b>	<b><i>Χωρίς DG</i></b>	3.5813	103.3837	0	0	0.0	0
18.0216	<b><i>max DG</i></b>	2.9546	85.2919	18.0918	1.003895	3339.3	333932.9
	<b><i>min DG</i></b>	3.2174	92.8788	10.5049	0.582906	1940.7	194066.3
<b>19:00 απόγευμα</b>							
<b><math>\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \text{ dt}</math> (A/ μήνα)</b>	<b><i>Χωρίς DG</i></b>	13.968	403.2238	0	0	0.0	0
18.6216	<b><i>max DG</i></b>	9.2215	266.2023	137.0215	7.358202	24155.2	2415516
	<b><i>min DG</i></b>	13.926	402.0196	1.2042	0.064667	215.5	21552.71

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.στ.****ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ** $\sigma_i=4800\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\ \%/ \text{χρόνο}$ **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**

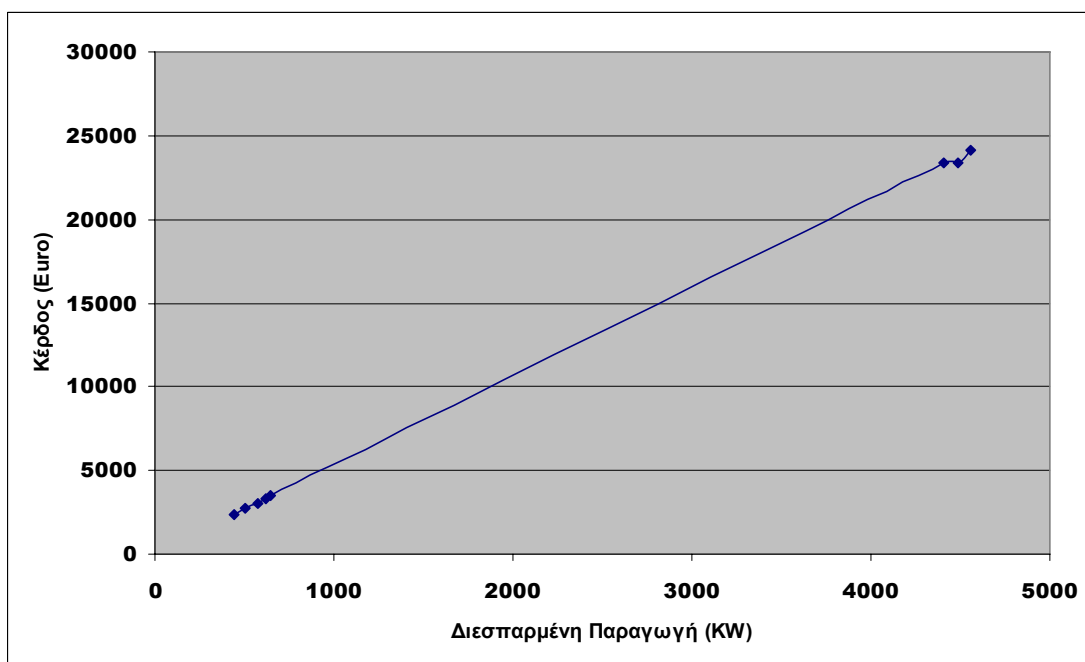
ΣΕΝΑΡΙΑ		<u>ΖΥΓΟΣ 1</u>		Διαφορά Ρευμάτων (A) $ I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} $	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€)	Συνολικό Κέρδος από αντικατάσταση 100 Μ/Σ (€)
		Έγχυση από το δίκτυο					
		S(MVA)	I(A)				
<b>05:00 πρωί</b>							
$\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \cdot dt$ (A/ μήνα)	<i>Χωρίς DG</i>	2.9894	86.2967	0	0	0.0	0
18.0062	<i>max DG</i>	2.5469	73.5215	12.7752	0.709487	2361.5	236146.6
	<i>min DG</i>	2.9894	86.2967	0	0	0.0	0
<b>19:00 απόγευμα</b>							
$\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \cdot dt$ (A/ μήνα)	<i>Χωρίς DG</i>	11.581	334.327	0	0	0.0	0
18.4598	<i>max DG</i>	7.0259	202.8209	131.5061	7.123902	23397.4	2339737
	<i>min DG</i>	11.581	334.327	0	0	0.0	0

## 4.2.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για τη Μέση Τάση

Παίρνοντας για κάθε μήνα και ώρα 05:00 και 19:00 τη συνολική διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής από όλους του ζυγούς και τον αντίστοιχο χρόνο αναβολής και κέρδος, για  $\rho = 5\%$  έτος και  $\sigma = 4800$  W/ μήνα, μπορούμε να δούμε τη σχέση μεταξύ αυτών των μεγεθών:



Σχήμα 4.2.α: Συνολική Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής- Χρόνος Αναβολής Επένδυσης



Σχήμα 4.2.β: Συνολική Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής- Κέρδος

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, όσο αυξάνεται η συνολική διεσπαρμένη παραγωγή που τοποθετείται στο δίκτυο, τόσο αυξάνεται ο χρόνος αναβολής της επένδυσης και το κέρδος που αποκομίζουμε.

### **4.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ $\sigma$ και $\rho$**

#### *4.3.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για τη Μέση Τάση*

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το χρόνο αναβολής και το κέρδος από την επένδυση, υποθέτοντας ότι έχουμε διαφορετικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, υπολογίζουμε με ρυθμούς αύξησης φορτίου  $\sigma = 100, 500, 700$  και  $1000$  Watt/ μήνα σε κάθε ζυγό του δικτύου χαμηλής τάσης, επομένως σε κάθε ζυγό της μέσης τάσης ο ρυθμός θα είναι πολλαπλασιασμένος επί 16, δηλαδή αντίστοιχα  $1600, 8000, 11200$  και  $16000$  Watt/ μήνα. Υποθέσαμε επίσης πως θα μπορούσαν να υπάρχουν και διαφορετικά επιτόκια αναγωγής και συγκεκριμένα  $\rho = 3, 5, 7$  % / χρόνο.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα υπό αυτές τις συνθήκες, για το σενάριο της μέγιστης διείσδυσης.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.α.**

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
1.6	6.0072	2.43457851	4854.4	8074.29	11281
4.8	18.0216	0.81152617	1621.37	2700.57	3778.17
8	30.036	0.4869157	973.257	1621.37	2269.03
11.2	42.0504	0.34779693	695.314	1158.51	1621.37
16	60.072	0.24345785	486.743	811.086	1135.31

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.β.**

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
1.6	6.20592	21.3354	41552.8	68048.6	93618.6
4.8	18.61776	7.111801	14097.9	23358.2	32509.4
8	31.0296	4.26708	8488.8	14097.9	19667.2
11.2	43.44144	3.047915	6072.69	10095.4	14097.9
16	62.0592	2.13354	4255.77	7080.23	9894.86



**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.γ.**

**ΑΠΡΙΛΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
<i>1.6</i>	6.00336	3.124434	6224.57	10347.3	14448.6
<i>4.8</i>	18.01008	1.041478	2080.23	3464.11	4845.49
<i>8</i>	30.0168	0.624887	1248.8	2080.23	2910.86
<i>11.2</i>	42.02352	0.446348	892.229	1486.4	2080.23
<i>16</i>	60.0336	0.312443	624.686	1040.8	1456.69

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.δ.**

**ΑΠΡΙΛΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
<i>1.6</i>	6.17136	2.731813	5445.03	9054.4	12647.4
<i>4.8</i>	18.51408	0.910604	1819.09	3029.6	4238.17
<i>8</i>	30.8568	0.546363	1092	1819.09	2545.6
<i>11.2</i>	43.19952	0.390259	780.114	1299.77	1819.09
<i>16</i>	61.7136	0.273181	546.171	910.057	1273.83

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.ε.**

**ΙΟΥΛΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
1.6	6.0072	3.011686	6000.8	9976.23	13931.8
4.8	18.0216	1.003895	2005.26	3339.31	4671.2
8	30.036	0.602337	1203.77	2005.26	2805.94
11.2	42.0504	0.430241	860	1432.8	2005.26
16	60.072	0.301169	602.057	1003.31	1404.23

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.στ.**

**ΙΟΥΛΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
1.6	6.2072	22.07461	42953.1	70299.4	96658.1
4.8	18.6216	7.358202	14581.8	24155.2	33611.8
8	31.036	4.414921	8781.26	14581.8	20339.9
11.2	43.4504	3.153515	6282.29	10443	14581.8
16	62.072	2.207461	4402.74	7324.46	10235.4

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.ζ.**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
<i>1.6</i>	6.00208	2.128462	4245.6	7063.54	9871.43
<i>4.8</i>	18.00624	0.709487	1417.71	2361.49	3304.11
<i>8</i>	30.0104	0.425692	850.971	1417.71	1984.11
<i>11.2</i>	42.01456	0.304066	607.886	1012.91	1417.71
<i>16</i>	60.0208	0.212846	425.6	709.143	992.686

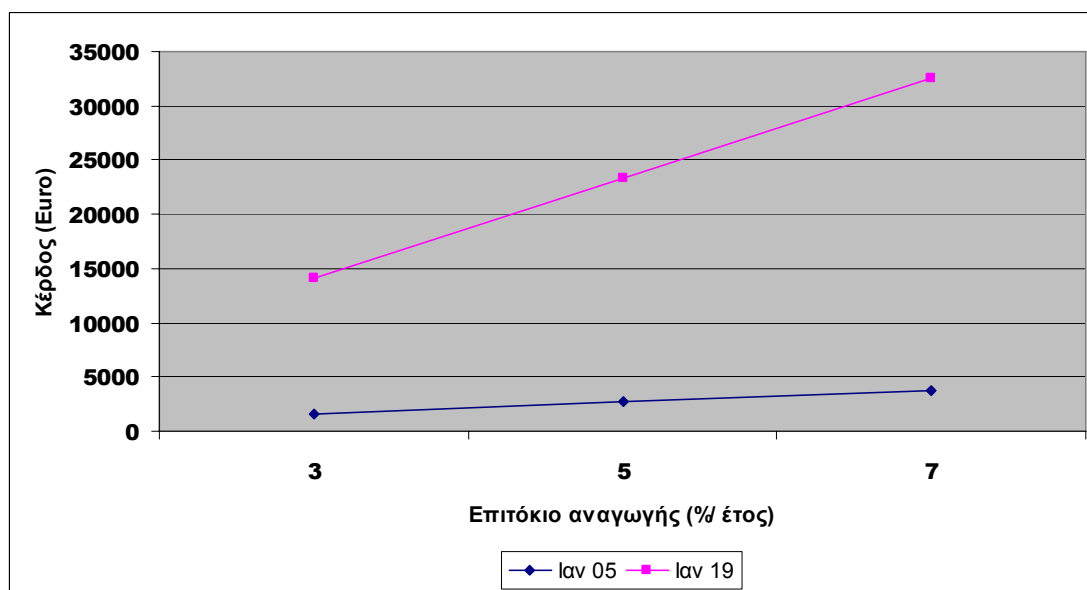
**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.η.**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
<i>1.6</i>	6.15328	21.37171	41621.6	68159.2	93768.2
<i>4.8</i>	18.45984	7.123902	14121.7	23397.4	32563.5
<i>8</i>	30.7664	4.274341	8503.2	14121.7	19700.3
<i>11.2</i>	43.07296	3.053101	6082.97	10112.6	14121.7
<i>16</i>	61.5328	2.137171	4262.97	7092.23	9911.54

## 4.3.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για τη Μέση Τάση

Στην επόμενη γραφική παράσταση, βλέπουμε ενδεικτικά για το μήνα Ιανουάριο, πώς επηρεάζεται το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης για τις διαφορετικές τιμές επιτοκίου αναγωγής που έχουμε υποθέσει, και για  $\sigma = 4800$  Watt/ μήνα για το σενάριο με τη μέγιστη διείσδυση.

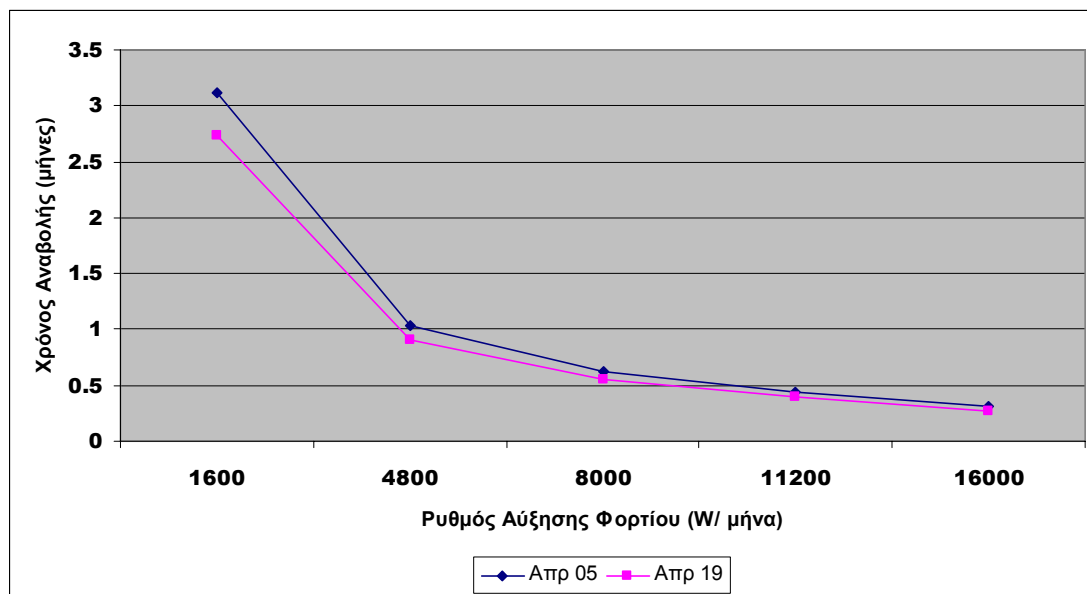


Σχήμα 4.3.α: Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος

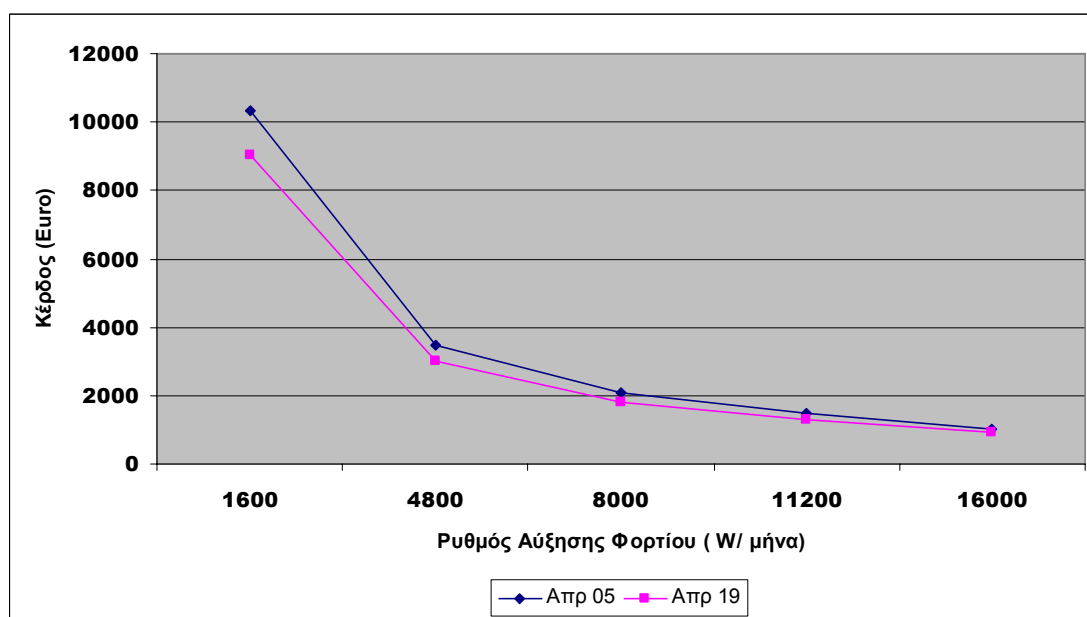
Το παραπάνω αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, όπως έχει φανεί και από τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις της χαμηλής τάσης. Το κέρδος αυξάνει αναλογικά με το επιτόκιο αναγωγής. Το όφελος αυξάνεται με αύξηση του επιτοκίου αναγωγής αφού η διαφορά της αξίας της χρηματικής μονάδας τώρα και στο μέλλον θα είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα να αυξάνει και το κέρδος από την αναβολή της επένδυσης.

Οι γραφικές παραστάσεις και για τους υπόλοιπους μήνες είναι παρόμοιες.

Ο χρόνος αναβολής της επένδυσης και το κέρδος από αυτή τη διαδικασία επηρεάζεται επίσης από το ρυθμό αύξησης του φορτίου, όπως έχει εξηγηθεί και νωρίτερα. Ενδεικτικά, για το μήνα Απρίλιο βλέπουμε την εξάρτηση αυτή για την περίπτωση που έχουμε  $\rho = 5$  %/έτος.



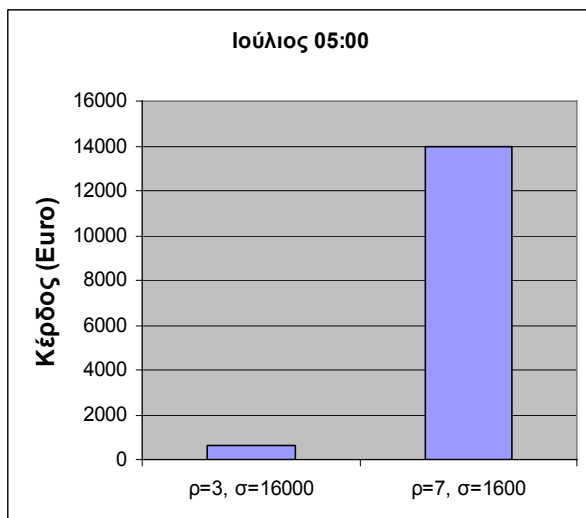
Σχήμα 4.3.β: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής



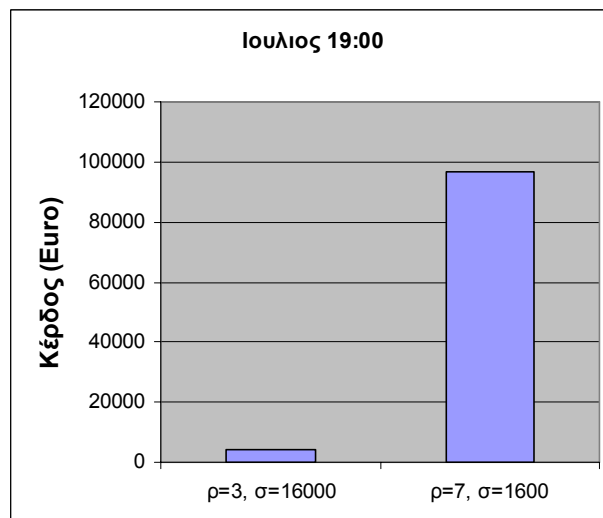
Σχήμα 4.3.γ: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος

Όπως και στην περίπτωση της χαμηλής τάσης, έτσι και στη μέση τάση παρατηρούμε πως μεγάλος ρυθμός αύξησης του φορτίου συνεπάγεται μικρό χρόνο αναβολής και μικρό κέρδος, αφού το ρεύμα επανέρχεται γρηγορότερα στην τιμή που είχε πριν την τοποθέτηση της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής.

Οι γραφικές παραστάσεις και των υπόλοιπων μηνών είναι παρόμοιες.

4.3.3. Σύγκριση ακραίων τιμών  $\sigma$ ,  $\rho$ 

**Σχήμα 4.3.δ:** Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma$ ,  $\rho$ , Ιούλιος 05:00



**Σχήμα 4.3.ε:** Σύγκριση Κέρδους για ακραίες τιμές  $\sigma$ ,  $\rho$ , Ιούλιος 19:00

Παρατηρώντας τους πίνακες με τους διαφορετικούς ρυθμούς αύξησης φορτίου και τα διάφορα επιτόκια αναγωγής, μπορούμε να δούμε πως το ευνοϊκότερο σενάριο είναι αυτό με το μικρότερο ρυθμό αύξησης φορτίου και το μέγιστο επιτόκιο αναγωγής. Το μικρότερο όφελος έχουμε στην περίπτωση του μεγάλου ρυθμού αύξησης φορτίου και μικρό επιτόκιο αναγωγής. Όπως και στην περίπτωση της χαμηλής τάσης, το ευνοϊκότερο σενάριο ( $\sigma = 1600$  W/ μήνα,  $\rho = 7$  %/ έτος) έχει τουλάχιστον εικοσαπλάσιο όφελος σε σχέση με το λιγότερο ευνοϊκό ( $\sigma = 16000$  W/ μήνα,  $\rho = 3$  %/ έτος). Ενδεικτικά, για το μήνα Ιούλιο βλέπουμε τη σύγκριση των δύο αυτών ακραίων σεναρίων.

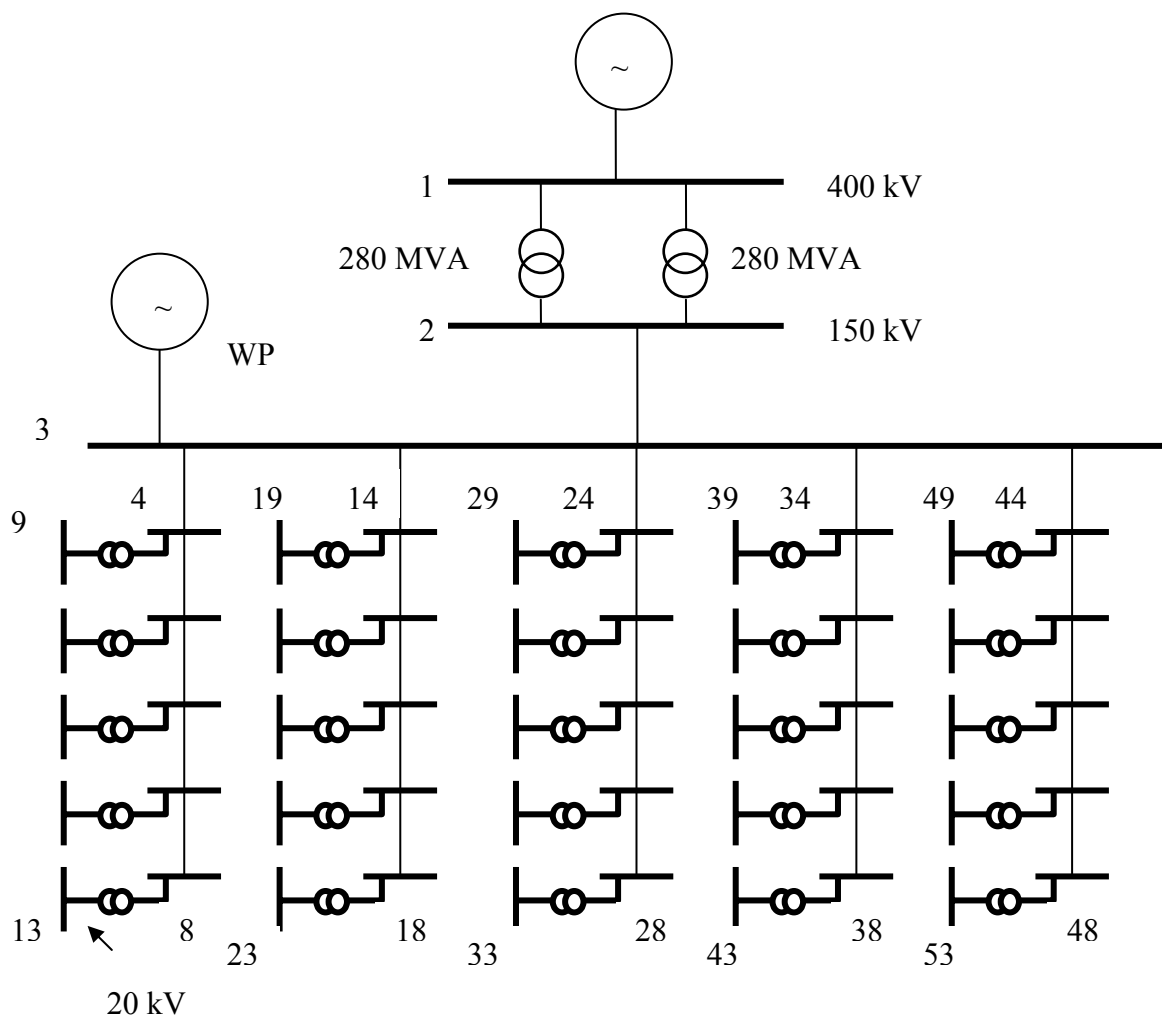
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ

#### 5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή της μεθόδου υπολογισμού του χρόνου αναβολής της επένδυσης αναβάθμισης στοιχείων του δικτύου από την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και του κέρδους από την αναβολή αυτή, για τη υψηλή τάση.

Το δίκτυο, πάνω στο οποίο έγιναν οι υπολογισμοί φαίνεται στο σχήμα 5.1.α.



Σχήμα 5.1.α: Δίκτυο Υψηλής Τάσης

Για κάθε γραμμή του δικτύου ισχύει

$$\begin{aligned} R &= 0.0971\Omega / km \\ X &= 0.3914\Omega / km \\ \frac{B}{2} &= 2.9190\mu S / km \end{aligned} \quad (5.1)$$

Η γραμμή 2-3 έχει μήκος 10 km, ενώ κάθε ζυγός υψηλής τάσης από τους υπόλοιπους απέχει από τον επόμενο 3 km. Οι μετασχηματιστές 400 kV/ 150 kV είναι 280 MVA ενώ ισχύει για τον κάθε ένα

$$\begin{aligned} R &= 0.00284\Omega \\ X &= 0.02746\Omega \\ \frac{B}{2} &= 0.39413\mu S \end{aligned} \quad (5.2)$$

Το δίκτυο αποτελείται από 25 ζυγούς μέσης τάσης, κάθε ένας από τους οποίους συνδέεται μέσω μετασχηματιστή με το δίκτυο υψηλής τάσης. Κάθε ζυγός μέσης τάσης είναι ένα δίκτυο μέσης τάσης όπως αυτό του σχήματος 4.1.α του προηγούμενου κεφαλαίου που αντιμετωπίζεται από το δίκτυο υψηλής τάσης ως ένα φορτίο με τιμή την απαιτούμενη εγγερόμενη ισχύ του δικτύου μέσης τάσης.

Η διείσδυση της διεσπαρμένης παραγωγής για κάθε ζυγό είναι το άθροισμα της διεσπαρμένης παραγωγής όλου του δικτύου μέσης τάσης που στην ουσία προέρχεται από τη διεσπαρμένη παραγωγή της χαμηλής τάσης. Από την υψηλή τάση η παρουσία της διεσπαρμένης παραγωγής αντιμετωπίζεται ως ένα αρνητικό φορτίο. Τα σενάρια που εξετάζονται είναι αυτά της μέγιστης και της ελάχιστης διείσδυσης όπως αυτά καθορίζονται από τα δεδομένα της χαμηλής τάσης και φαίνονται στον πίνακα 5.1.α. Παράλληλα θεωρούμε ότι μπορούμε να έχουμε και ένα μεγάλο αιολικό πάρκο συνδεδεμένο στην υψηλή τάση στο ζυγό 3 με δυνατότητα παραγωγής 50 MVA, 100 MVA και 150 MVA.

Η εφαρμογή έγινε για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο, για τις ώρες 05:00 το πρωί και 19:00 το απόγευμα.

Θεωρήθηκε ότι οι μονάδες λειτουργούν με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.α.**  
**ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ DG ΕΝΟΣ ΖΥΓΟΥ**

Μήνας / Ώρα	Φορτίο ενός ζυγού (MW)	Μέγιστη Διείσδυση ενός ζυγού (MW)	Ελάχιστη Διείσδυση ενός ζυγού (MW)
Ιανουάριος 05:00	3.57	0.50176	0.0224
Ιανουάριος 19:00	13.8508	4.40512	2.016
Απρίλιος 05:00	3.1622	0.64448	0
Απρίλιος 19:00	12.2099	0.57728	0.57728
Ιούλιος 05:00	3.58	0.6208	0.36032
Ιούλιος 19:00	13.8909	4.55936	0.03968
Οκτώβριος 05:00	2.9886	0.43904	0
Οκτώβριος 19:00	11.5373	4.48768	0

Η ανάλυση έγινε ως προς το ρεύμα που διαρρέει τον ζυγό 1. Υπολογίσαμε δηλαδή το κέρδος από την αναβολή της αντικατάστασης του μετασχηματιστή που βρίσκεται στο ζυγό αυτό. Το κόστος αντικατάστασης του μετασχηματιστή θεωρήθηκε πως θα είναι περίπου 3,000,000 € .

Κάθε ζυγός του δικτύου μέσης τάσης ( Σχήμα 4.1.α) βρέθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο πως θα έχει ρυθμό αύξησης φορτίου 4.8 kW/ μήνα. Επομένως για όλο το δίκτυο μέσης τάσης που αποτελείται από 129 ζυγούς αν εξαιρέσουμε το ζυγό ταλάντωσης θα έχουμε ρυθμό αύξησης φορτίου 619.2 kW/ μήνα. Αυτός θα είναι ο ρυθμός αύξησης φορτίου για κάθε ζυγό του δικτύου υψηλής τάσης, εκτός από το ζυγό ταλάντωσης. Υποθέσαμε επίσης ότι το επιτόκιο αναγωγής θα είναι 5 % / έτος.

**5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ  $\sigma = 619.2 \text{ kW/ Μήνα}$  και  $\rho = 5 \% / \text{χρόνο}$** *5.2.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για την Υψηλή Τάση*

Στους επόμενους πίνακες φαίνονται ο χρόνος αναβολής της επένδυσης και το κέρδος από την αναβολή για τα διάφορα σενάρια διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής. Για όλους τους μήνες, για την ώρα 05:00 το πρωί, δεν υπάρχει το σενάριο όπου το μεγάλο αιολικό πάρκο παράγει 100 MW και 150 MW καθώς η παραγωγή ξεπερνάει τη ζήτηση και το ρεύμα αντιστρέφεται. Παρουσιάζονται ταυτόχρονα η εγγεόμενη ισχύς και το ρεύμα που προέρχεται από τα 400 kV, αλλά και η μείωση στην έγχυση ρεύματος εξαιτίας της παρουσίας της διεσπαρμένης παραγωγής.

Για τον Ιανουάριο φαίνονται αναλυτικά οι τιμές της ευαισθησίας του ρεύματος του ζυγού 1 ως προς τη μεταβολή του φορτίου όλων των ζυγών.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.α.****ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (05:00 πρωί)** **$\sigma_i = 4800 \text{ Watt/Μήνα}$ ,  $\rho = 5 \% / \text{χρόνο}$** 

<b>Υπολογισμός της ευαισθησίας (<math>\gamma_{i1}</math>) του ρεύματος <math>I_1</math>, στο ζυγό 1 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό <math>i</math> (<math>A/kW</math>)</b>			
<b>Ζυγός (<math>i</math>)</b>	<b><math>\gamma_{i1}</math> (<math>A/kVA</math>)</b>	<b><math>\sigma_i</math> (<math>kWatt/Month</math>)</b>	<b><math>\Sigma \gamma_{i,1} \cdot \sigma_i \cdot dt</math> (A)</b>
2	0.0038	619.2	<b>125.512·dt</b>
3	0.0039	619.2	
4	0.0039	619.2	
5	0.0039	619.2	
6	0.0039	619.2	
7	0.0039	619.2	
8	0.0039	619.2	
...	...	...	
46	0.0039	619.2	
47	0.0039	619.2	
48	0.0039	619.2	
49	0.0039	619.2	
50	0.0039	619.2	
51	0.0039	619.2	
52	0.0039	619.2	
53	0.0039	619.2	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.β.****ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ (19:00 απόγευμα)** $\sigma_i=4800\text{Watt/Μήνα}$ ,  $\rho=5\ \%/ \text{χρόνο}$ 

<i>Υπολογισμός της ευαισθησίας (<math>\gamma_{il}</math>) του ρεύματος <math>I_1</math>, στο ζυγό 1 από μεταβολή του φορτίου στο ζυγό <math>i</math> (<math>A/kW</math>)</i>			
<i>Ζυγός (<math>i</math>)</i>	<i><math>\gamma_{il}</math> (<math>A/kVA</math>)</i>	<i><math>\sigma_i</math> (<math>kWatt/Month</math>)</i>	<i><math>\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i\cdot dt</math> (<math>A</math>)</i>
2	0.0037	619.2	<b>130.775·dt</b>
3	0.004	619.2	
4	0.004	619.2	
5	0.004	619.2	
6	0.004	619.2	
7	0.004	619.2	
8	0.004	619.2	
...	...	...	
46	0.004	619.2	
47	0.004	619.2	
48	0.004	619.2	
49	0.0041	619.2	
50	0.0041	619.2	
51	0.0041	619.2	
52	0.0042	619.2	
53	0.0042	619.2	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.γ.****ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ** $\sigma_i=619.2$  kWatt/Μήνα,  $\rho=5\%$ / χρόνο**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**

ΣΕΝΑΡΙΑ	<u>ΖΥΓΟΣ 1</u>		Διαφορά Ρευμάτων (A) $ I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} $	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€)	Σγ <sub>i,1</sub> ·σ <sub>i</sub> dt (A/ μήνα)
	Έγχυση από το δίκτυο					
	S(MVA)	I(A)				
<b>05:00 πρωί</b>						
1	<i>Χωρίς DG</i>	89.812	345.6864	0	0	125.512
2	<i>min DG</i>	89.2455	343.5062	2.1802	0.01737047	
3	<i>max DG</i>	77.1352	296.8934	48.793	0.38875217	
4	<i>max DG, WP 50 MW</i>	27.0009	103.9264	241.76	1.92619278	
<b>19:00 απόγευμα</b>						
1	<i>Χωρίς DG</i>	362.8099	1396.5	0	0	130.775
2	<i>min DG</i>	308.9521	1189.2	207.3	1.585165	
3	<i>max DG</i>	246.196	947.609	448.891	3.432543	
4	<i>max DG, WP 50 MW</i>	195.9023	754.0282	642.4718	4.912801	
5	<i>max DG, WP 100 MW</i>	146.7235	564.7389	831.7611	6.360244	
6	<i>max DG, WP 150 MW</i>	99.8631	384.3733	1012.127	7.739449	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.δ.****ΑΠΡΙΛΙΟΣ** $\sigma_i=619.2$  kWatt/Μήνα,  $\rho=5\%$ / χρόνο**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**

ΣΕΝΑΡΙΑ	<u>ΖΥΓΟΣ 1</u>		Διαφορά Ρευμάτων (A) $ I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} $	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€)	Σγ <sub>i,1</sub> ·σ <sub>i</sub> dt (A/ μήνα)	
	Έγχυση από το δίκτυο						
	S(MVA)	I(A)					
<b>05:00 πρωί</b>							
1	<i>Χωρίς DG</i>	79.4797	305.9177	0	0	125.512	
2	<i>min DG</i>	79.4797	305.9177	0	0		
3	<i>max DG</i>	63.2257	243.3559	62.5618	0.498453		6224.2
4	<i>max DG, WP 50 MW</i>	13.2047	50.825	255.0927	2.032419		25298.0
<b>19:00 απόγευμα</b>							
1	<i>Χωρίς DG</i>	316.9031	1219.8	0	0	130.218	
2	<i>min DG</i>	301.6029	1160.9	58.9	0.452319		5648.7
3	<i>max DG</i>	301.6029	1160.9	58.9	0.452319		5648.7
4	<i>max DG, WP 50 MW</i>	250.4598	964.02	255.78	1.964248		24452.9
5	<i>max DG, WP 100 MW</i>	199.9582	769.6396	450.1604	3.456982		42902.5
6	<i>max DG, WP 150 MW</i>	150.4158	578.9508	640.8492	4.921366		60890.6

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.ε.****ΙΟΥΛΙΟΣ** $\sigma_i=619.2 \text{ kWatt/Μήνα}, \rho=5 \text{ \%/ χρόνο}$ **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**

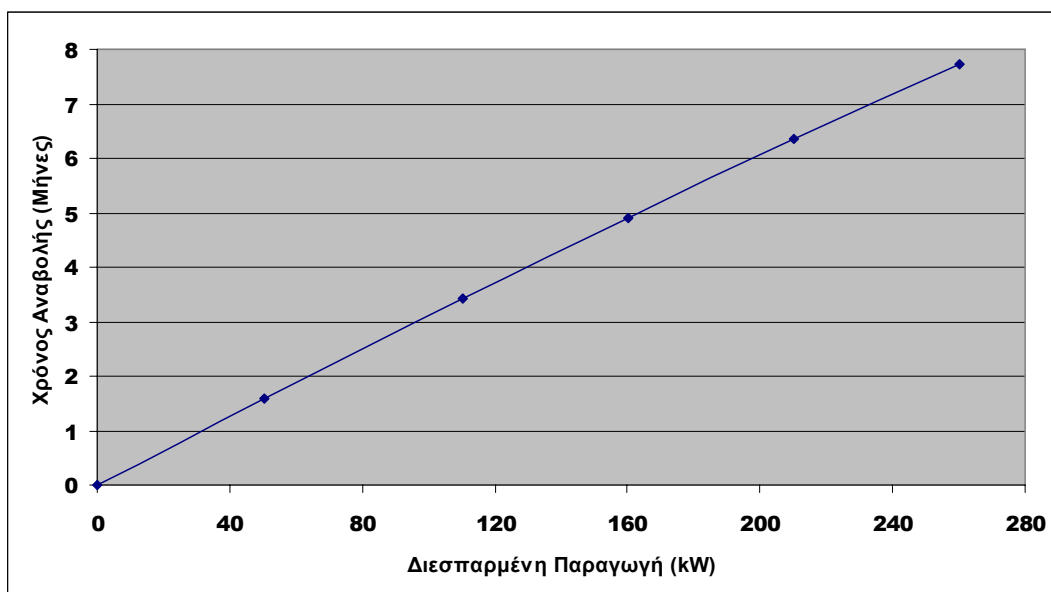
ΣΕΝΑΡΙΑ	<u>ΖΥΓΟΣ 1</u>		Διαφορά Ρευμάτων (A) $ I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} $	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€)	Σγ <sub>i,1</sub> ·σ <sub>i</sub> dt (A/ μήνα)
	Έγχυση από το δίκτυο					
	S(MVA)	I(A)				
<b>05:00 πρωί</b>						
1	<i>Χωρίς DG</i>	90.0657	346.6631	0	0	125.512
2	<i>min DG</i>	80.9596	311.6137	35.0494	0.279252	
3	<i>max DG</i>	74.3842	286.305	60.3581	0.480896	
4	<i>max DG, WP 50 MW</i>	24.2772	93.4431	253.22	2.017499	
<b>19:00 απόγευμα</b>						
1	<i>Χωρίς DG</i>	363.9439	1400.8	0	0	131.085
2	<i>min DG</i>	362.8752	1396.7	4.1	0.031278	
3	<i>max DG</i>	243.2805	936.3873	464.4127	3.542846	
4	<i>max DG, WP 50 MW</i>	193.0348	742.9914	657.8086	5.018197	
5	<i>max DG, WP 100 MW</i>	143.9403	554.0266	846.7734	6.459745	
6	<i>max DG, WP 150 MW</i>	97.2879	374.4614	1026.339	7.829587	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.στ.****ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ** $\sigma_i=619.2$  kWatt/Μήνα,  $\rho=5\%$ / χρόνο**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**

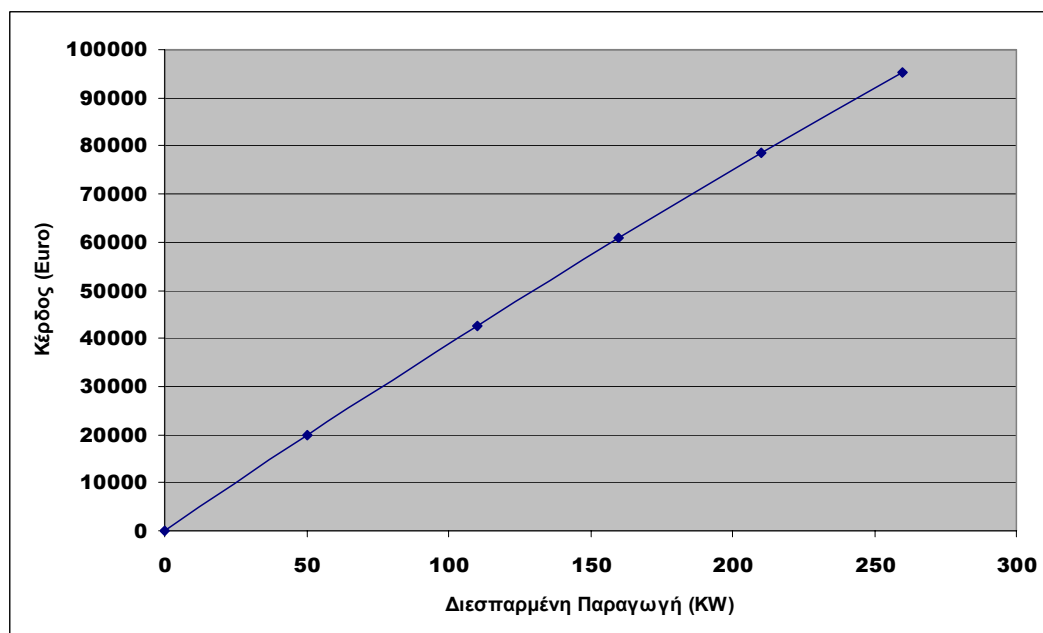
ΣΕΝΑΡΙΑ	<u>ΖΥΓΟΣ 1</u>		Διαφορά Ρευμάτων (Α) $ I_{\text{χωρίς DG}} - I_{\text{DG}} $	Χρόνος αναβολής, τ (Μήνες)	Κέρδος, Β (€)	Σγ <sub>i,1</sub> ·σ <sub>i</sub> dt (Α/ μήνα)	
	Έγχυση από το δίκτυο						
	S(MVA)	I(A)					
<b>05:00 πρωί</b>							
1	<i>Χωρίς DG</i>	75.0883	289.0149	0	0	125.512	
2	<i>min DG</i>	75.0883	289.0149	0	0		
3	<i>max DG</i>	64.0184	246.4069	42.608	0.339474		4240.4
4	<i>max DG, WP 50 MW</i>	13.9607	53.7346	235.2803	1.874567		23340.8
<b>19:00 απόγευμα</b>							
1	<i>Χωρίς DG</i>	298.5444	1149.1	0	0	130.218	
2	<i>min DG</i>	298.5444	1149.1	0	0		
3	<i>max DG</i>	181.7295	699.47	449.63	3.452908		42852.4
4	<i>max DG, WP 50 MW</i>	131.7581	507.13	641.97	4.929973		60996.0
5	<i>max DG, WP 100 MW</i>	83.305	320.6409	828.4591	6.362105		78481.5
6	<i>max DG, WP 150 MW</i>	41.0402	157.9638	991.1362	7.611375		93649.3

*5.2.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για την Υψηλή Τάση*

Στις επόμενες γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ενδεικτικά για το μήνα Ιανουάριο και για 19:00 το απόγευμα το χρόνο αναβολής της επένδυσης, αλλά και το κέρδος από την αναβολή, σε σχέση με τα διάφορα σενάρια διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής για το μήνα αυτό.



**Σχήμα 5.2.α:** Συνολική Διείσδυση Διεσπαρμένης Παραγωγής- Χρόνος Αναβολής της Επένδυσης, Ιανουάριος 19:00

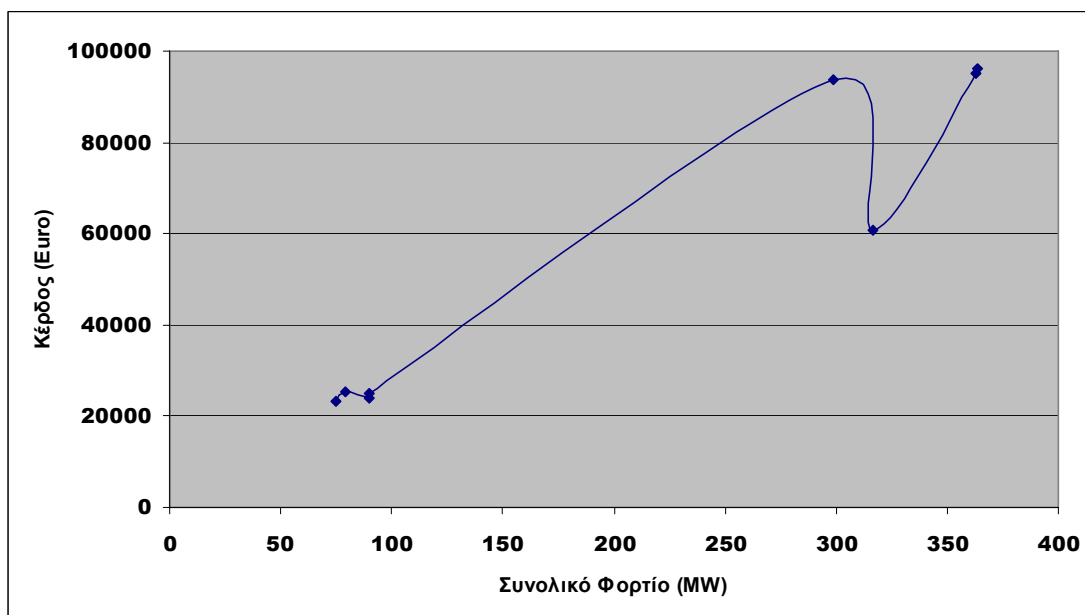


**Σχήμα 5.2.β:** Διεσπαρμένη Παραγωγή- Κέρδος, Ιανουάριος 19:00



Από τα σχήματα 5.2.α, 5.2.β μπορούμε να παρατηρήσουμε πως με αύξηση της διεσπαρμένης παραγωγής έχουμε αύξηση του χρόνου αναβολής της επένδυσης σε νέο μετασχηματιστή και του κέρδους από την αναβολή.

Στην επόμενη γραφική παράσταση μπορούμε να δούμε πώς το σύνολο του φορτίου του δικτύου σχετίζεται με το κέρδος που αποκομίζουμε από την αναβολή της επένδυσης.



**Σχήμα 5.2.γ:** Συνολικό Φορτίο- Κέρδος

Όπως φαίνεται από το σχήμα 5.2.γ, με αυξημένη ζήτηση, θα έχουμε περισσότερο κέρδος. Μεγάλη ποσότητα φορτίου δίνει συνήθως και τη δυνατότητα για μεγαλύτερη διείσδυση DG με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερο χρόνο αναβολής της επένδυσης και κέρδος από την αναβολή αυτή. Στην περίπτωση του Απριλίου 19:00 (Φορτίο  $\approx$  316 MW) η διείσδυση DG είναι μικρή παρά το μεγάλο φορτίο (Πίνακας 5.1.α.), έτσι παρατηρούμε μια μείωση στο κέρδος.

### 5.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ $\sigma$ και $\rho$

#### 5.3.α. Πίνακες Αποτελεσμάτων για την Υψηλή Τάση

Στη συνέχεια εξετάζεται η μεταβολή του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους που αποκομίζουμε σε σχέση με το ρυθμό αύξησης του φορτίου και το επιτόκιο αναγωγής. Η εφαρμογή γίνεται ενδεικτικά για το μήνα Ιούλιο για το σενάριο

με τη μέγιστη διείσδυση. Οι ρυθμοί αύξησης φορτίου που εξετάζονται είναι 1.6, 4.8, 8, 11.2, 16 kW/ μήνα για κάθε ζυγό του δικτύου μέσης τάσης ( Σχήμα 4.1.α), επομένως για κάθε ζυγό του δικτύου υψηλής τάσης θα έχουμε ρυθμό αύξησης φορτίου 206.4, 619.2, 1032, 1444.8, 2064 kW/ μήνα. Εξετάζουμε επίσης τις περιπτώσεις που το επιτόκιο αναγωγής είναι 3, 5, 7 %/ έτος.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.α.**  
**ΙΟΥΛΙΟΣ (05:00 πρωί)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

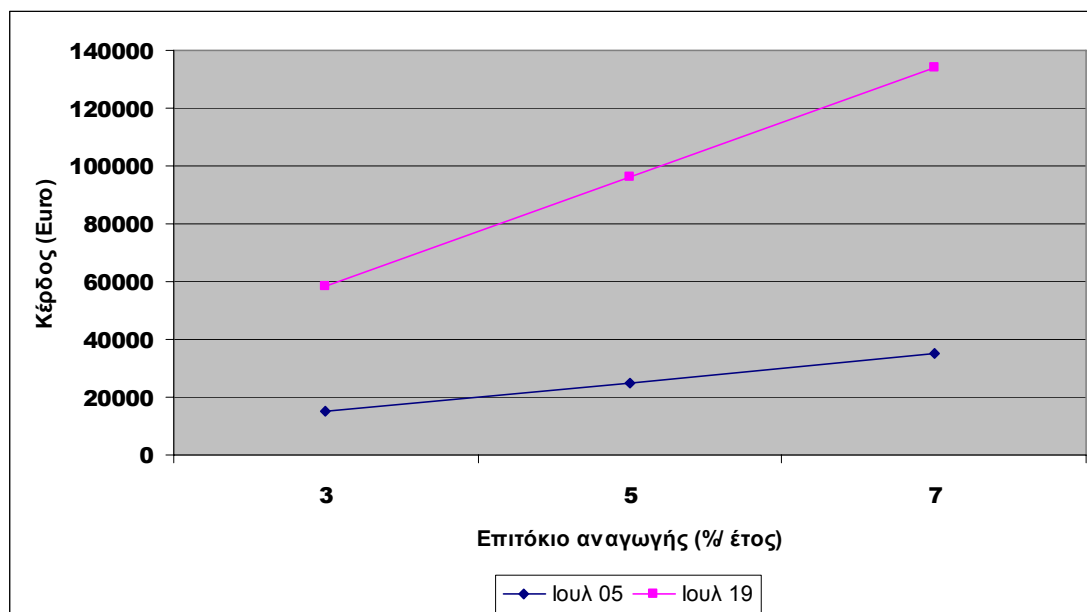
$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
206.4	41.83728	6.052497	45052.0	71369.6	104070.7
619.2	125.5118	2.017499	15093.1	25113.0	35099.3
1032	209.1864	1.210499	9065.0	15093.1	21109.1
1444.8	292.861	0.864642	6477.8	10788.6	15093.1
2064	418.3728	0.60525	4535.9	7556.1	10573.2

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.β.**  
**ΙΟΥΛΙΟΣ (19:00 απόγευμα)**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΒΟΛΗΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΟΥΣ ΑΠΟ**  
**ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ  $\sigma, \rho$**

$\sigma$ (kWatt/ μήνα)	$\Sigma\gamma_{i,1}\cdot\sigma_i$	Χρόνος αναβολής, $\tau$ (Μήνες)	Κέρδος, B (€) $\rho=3\%$	Κέρδος B (€) $\rho=5\%$	Κέρδος, B (€) $\rho=7\%$
206.4	43.69488	23.48876	171093.1	279699.2	384135.8
619.2	131.0846	7.829587	58150.9	96290.6	133935.9
1032	218.4744	4.697752	35027.1	58150.9	81094.5
1444.8	305.8642	3.355537	25061.3	41652.4	58150.9
2064	436.9488	2.348876	17564.9	29217.7	40825.0

## 5.3.β. Γραφικές Παραστάσεις των Αποτελεσμάτων για την Υψηλή Τάση

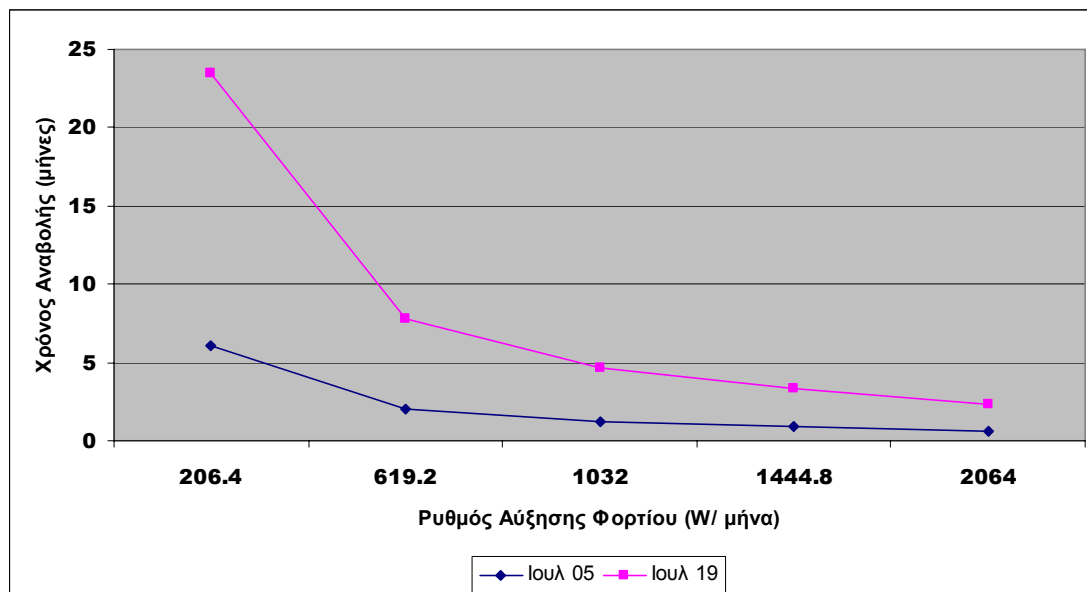
Στη συνέχεια μπορούμε να δούμε τη σχέση μεταξύ του επιτοκίου αναγωγής και του κέρδους από την αναβολή της επένδυσης σε νέο μετασχηματιστή. Θεωρούμε πως ο ρυθμός αύξησης φορτίου θα είναι 619.2 kW/ μήνα.



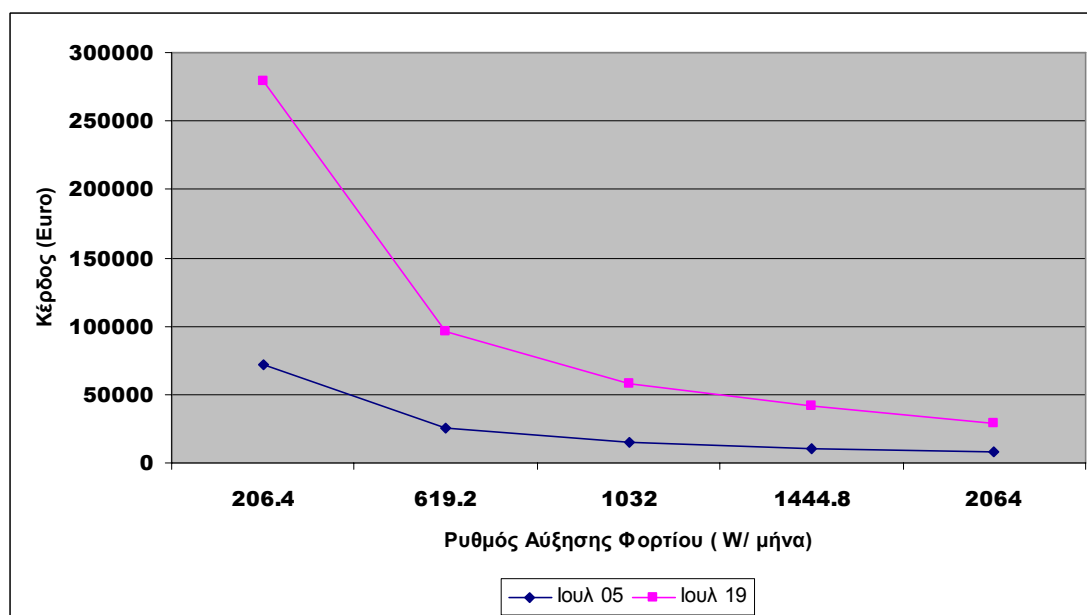
Σχήμα 5.3.α: Επιτόκιο Αναγωγής- Κέρδος

Όπως είδαμε και στην εφαρμογή για τη χαμηλή και τη μέση τάση το κέρδος αυξάνεται καθώς αυξάνεται το επιτόκιο αναγωγής.

Στη συνέχεια βλέπουμε πως μεταβάλλονται οι τιμές του χρόνου αναβολής της επένδυσης και του κέρδους σε σχέση με το ρυθμό αύξησης φορτίου για δεδομένο επιτόκιο αναγωγής ( $\rho = 5\%$  / έτος).



Σχήμα 5.3.β: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Χρόνος Αναβολής



Σχήμα 5.3.γ: Ρυθμός Αύξησης Φορτίου- Κέρδος

Τα αποτελέσματα, όπως είναι λογικό, είναι παρόμοια με αυτά της χαμηλής και της μέσης τάσης και δείχνουν πως αύξηση του ρυθμού αύξησης του φορτίου έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου αναβολής και του κέρδους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάστηκε μια διαδικασία για τον υπολογισμό του οφέλους που αποκομίζουμε από την αναβολή της επένδυσης σε καινούργιους μετασχηματιστές στο δίκτυο, εξαιτίας της τοποθέτησης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

Όσο αυξάνεται η τοποθέτηση εγκαταστάσεων παραγωγής αυξάνεται και ο χρόνος αναβολής της επένδυσης και κατά συνέπεια το κέρδος που αποκομίζουμε. Στις περιπτώσεις που έχουμε περισσότερο φορτίο έχουμε και περισσότερο όφελος όπως διαπιστώθηκε από τις εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν.

Αν γίνει ένα συνολικό σχέδιο διείσδυσης της διεσπαρμένης παραγωγής σε όλο το δίκτυο, όπως για παράδειγμα στο δίκτυο του σχήματος 5.1.α, τα οφέλη θα είναι πολλαπλά. Το συγκεκριμένο δίκτυο αποτελείται από δύο μετασχηματιστές 400 kV/ 150 kV και το όφελος από την αναβολή της αντικατάστασης τους, αν υποθέσουμε ζήτηση όπως αυτή του Ιουλίου 19:00 το απόγευμα, υπολογίστηκε στα **96291 €** (Πίνακας 5.2.ε). Το δίκτυο αυτό περιλαμβάνει επίσης 25 μετασχηματιστές 150 kV/ 20 kV. Το όφελος από την αναβολή της αντικατάστασης ενός από αυτούς, σύμφωνα με τα δεδομένα του Ιουλίου 19:00 το απόγευμα θα είναι 24155 € (Πίνακας 4.2.ε). Έτσι το όφελος και για τους 25 θα είναι **603875 €**. Τέλος, κάθε ένας από αυτούς τους 25 μετασχηματιστές τροφοδοτεί από ένα δίκτυο με 64 μετασχηματιστές 20 kV/ 0.4 kV. Υπάρχουν δηλαδή συνολικά 1600 τέτοιοι μετασχηματιστές στο δίκτυο 5.1.α. Για κάθε ένα από αυτούς έχουμε όφελος 894 € (Πίνακας 3.2.η) σύμφωνα και πάλι με τα δεδομένα του Ιουλίου 19:00 το απόγευμα για το πιο ευνοϊκό σενάριο. Άρα για τους 1600 μετασχηματιστές το όφελος θα είναι **1,430,400 €**. Έτσι, το συνολικό όφελος από την αναβολή αντικατάστασης των μετασχηματιστών όλου του δικτύου εξαιτίας της τοποθέτησης μονάδων παραγωγής διεσπαρμένων σε αυτό θα είναι **2,130,566 €**. Όπως είναι φανερό με ένα συνολικό σχέδιο διείσδυσης έχουμε ένα πολύ σημαντικό χρηματικό όφελος.

Το εύρος του κέρδους που αποκομίζουμε εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το ρυθμό αύξησης του φορτίου. Όσο μεγαλώνει ο ρυθμός αύξησης του φορτίου μειώνεται ο χρόνος αναβολής και το κέρδος. Μεγάλη επιρροή στο κέρδος έχει και το επιτόκιο αναγωγής, το πόσο δηλαδή μεταβάλλεται η αξία της χρηματικής μονάδας με την πάροδο του χρόνου. Αν έχουμε μεγάλο επιτόκιο αναγωγής θα έχουμε και μεγαλύτερο όφελος. Θα πρέπει επίσης να αναφέρουμε πως ο συντελεστής ισχύος υπό τον οποίο λειτουργούν οι μονάδες παραγωγής έχει μικρή επιρροή στο χρόνο αναβολής της επένδυσης. Τέλος, μπορούμε να αναφέρουμε γενικά πως, συνήθως, όσο πιο κοντά στο φορτίο βρίσκεται η μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το όφελος αφού δε θα χάνεται μεγάλο μέρος του ρεύματος σε απώλειες μεταφοράς.

Στη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, εστίασαμε στο όφελος που αποκομίζουμε από την αναβολή της επένδυσης σε μετασχηματιστές. Ένα επιπλέον όφελος όμως προκύπτει και από την αναβολή της επένδυσης σε καλώδια μεταφοράς του ρεύματος, που δεν εξετάστηκε σε αυτή τη διπλωματική εργασία.

Από την άλλη μεριά, η εγκατάσταση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής έχει και ορισμένα μειονεκτήματα, που αναφέρθηκαν στο πρώτο μέρος της εργασίας.

Ως προς την επίδραση των διεσπαρμένων μονάδων στο χρόνο αναβολής της επένδυσης σε νέους μετασχηματιστές θα πρέπει να αναφέρουμε πως στους υπολογισμούς κάναμε την υπόθεση πως η τιμή ενός μετασχηματιστή θα παραμείνει ίδια, είτε η επένδυση γινόταν σήμερα, είτε μετά από το χρονικό διάστημα που το ρεύμα θα έπαιρνε και πάλι τη σημερινή του τιμή. Θεωρήσαμε δηλαδή πως η τιμή του μετασχηματιστή δε θα επηρεαζόταν από τη μεταβολή στην αξία του χρήματος εξαιτίας της διέλευσης του χρόνου, αλλά το μόνο που θα αλλάξει είναι η αξία των χρηματικών μονάδων που έχουμε στην κατοχή μας για επένδυση στο μετασχηματιστή.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί πως σε ορισμένες περιπτώσεις, παρά το γεγονός ότι μέρος της ζήτησης μπορεί να καλύπτεται από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, η αντικατάσταση του μετασχηματιστή θα πρέπει να γίνει σαν να μην είχαμε διεσπαρμένες μονάδες, αφού θα υπάρχει απαίτηση σε κάθε στιγμή να έχουμε πλήρη εφεδρεία από συμβατικές μονάδες παραγωγής. Αυτό μπορεί να συμβεί για

παράδειγμα για το μέρος της διεσπαρμένης παραγωγής που καλύπτεται από ανεμογεννήτριες. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία δε λήφθηκε υπόψη αυτός ο παράγοντας.

Γενικά, μπορούμε να πούμε πως η αναβολή της επένδυσης σε νέους μετασχηματιστές και καλώδια του δικτύου είναι μια παράμετρος που επιφέρει ένα επιπλέον, σχετικά σημαντικό όφελος κατά την τοποθέτηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό της τοποθέτησης εγκαταστάσεων παραγωγής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, W. D'haeseleer and R. Belmans, "Distributed Generation: Definition, Benefits and Issues," K.U. Leuven- Energy Institute, August 2003.
- [2] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen and G. Strbac, "Embedded generation," London: The Institution of Electrical Engineers (IEE), 2000.
- [3] G. Alexander and G. Boyle, "Introducing Renewable Energy," in G. Boyle (ed.), "Renewable Energy: Power for a sustainable future," New York: Oxford University Press, 2004.
- [4] H. A. Gil and G. Joos, "On the Quantification of the Network Capacity Deferral Value of Distributed Generation," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, no. 4, November 2006.
- [5] T.E. Hoff, H.J. Wenger and B.K. Farmer, "Distributed Generation: An Alternative to Electric Utility Investments in System CAPACITY," Energy Policy, vol. 24, no. 2, pp. 137- 147, February 1996.
- [6] Σ. Παπαθανασίου, "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής στα δίκτυα διανομής," στο <http://users.ntua.gr/stpaph/Interconnection%20of%20generation.pdf>.
- [7] Σ. Παπαθανασίου, "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης αιολικών πάρκων," στο <http://users.ntua.gr/stpaph/WT%20energy%20output.pdf>.
- [8] C.E.T. Foote, G.M. Burt, I.M. Elders and G.W. Ault, "Developing distributed generation penetration scenarios," Future Power Systems, 2005 International Conference on 16-18 Nov. 2005 Page(s): 6 pp. -.



- [9] Γ. Κονταξής, Ν. Χατζηαργυρίου, “Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας”, Αθήνα 2000, ΕΜΠ.
- [10] Β. Παπαδιάς, “Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας: Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας ( Τόμος 1), “ Αθήνα, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1985.
- [11] Lynn Powell, “Power System Load Flow Analysis,” McGraw- Hill Professional Engineering, 2005.
- [12] Θ. Καρακατσάνης, “Συμβολή της Πιθανοτικής Ροής Φορτίου στον Έλεγχο Λειτουργίας των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 1995, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, ΕΜΠ.
- [13] Hadi Saadat, “Power System Analysis,” McGraw- Hill International Editions, Electrical Engineering Series, 1999.
- [14] W. Shirley, R. Cowart, R. Sedano, F. Weston, C. Harrington, and D. Moskovitz, “State Electricity Regulatory Policy and Distributed Resources: Distribution System Cost Methodologies for Distributed Generation Appendices,” The Regulatory Assistance Project, NREL – National Renewable Energy Laboratory, Oct. 2002.
- [15] More Microgrids – Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids, Work Package G, Task TG3: Input to Deliverable DG4, Version 1.0, July 2007.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ MATLAB

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα προγράμματα του Matlab, με τη βοήθεια των οποίων υλοποιήθηκε η ανάλυση ροής φορτίου με τη μέθοδο Newton-Raphson και ο υπολογισμός των συντελεστών ευαισθησίας. Τα προγράμματα “Lfybust”, “Lfnewtont”, “Lineflowt”, “Busoutt” υλοποιήθηκαν από τον H. Saadat [13].

### **Lfybust** [13]

Είναι το πρώτο πρόγραμμα που καλείται από το αρχείο που περιέχει τα δεδομένα του δικτύου και υπολογίζει τη μήτρα αγωγιμοτήτων.

### **Lfnewtont** [13]

Στο πρόγραμμα αυτό που καλείται στη συνέχεια υλοποιείται η μέθοδος Newton-Raphson και υπολογίζονται έτσι η τάση και η ισχύς σε όλους τους ζυγούς του δικτύου.

### **Lineflowt** [13]

Στο πρόγραμμα αυτό υπολογίζονται και παρουσιάζονται οι εγχύσεις ισχύος μεταξύ κάθε ζυγού του δικτύου και των ζυγών που αυτός συνδέεται.

### **Busoutt** [13]

Με τη βοήθεια του προγράμματος αυτού που καλείται στη συνέχεια, γίνεται η παρουσίαση σε μορφή πίνακα του μέτρου και της γωνίας της τάσης, της παραγωγής ενεργού και άεργου ισχύος και της κατανάλωσης ενεργού και άεργου ισχύος όλων των ζυγών του δικτύου.

### **Sensitivity**

Τέλος, καλείται το πρόγραμμα που υπολογίζει την ευαισθησία ενός ζυγού του δικτύου που επιλέγουμε ως προς όλους τους άλλους ζυγούς του δικτύου.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΡΟΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Η βέλτιστη ροή φορτίου είναι η ροή φορτίου όπου έχουμε ελαχιστοποίηση του κόστους ή κάποιας άλλης παραμέτρου, ενώ παράλληλα έχουμε περιορισμούς ως προς τα σημεία λειτουργίας του εξοπλισμού του δικτύου.

Η ευαισθησία εξαρτημένων μεταβλητών και συναρτήσεων ως προς τη μεταβολή μιας παραμέτρου και η ευαισθησία μιας αντικειμενικής συνάρτησης ως προς τη μεταβολή συγκεκριμένων παραμέτρων, έχουν πολλές εφαρμογές όσον αφορά τη μελέτη και τον έλεγχο των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις της ευαισθησίας δίνεται η δυνατότητα να καθοριστούν οι παράμετροι που θα παράγουν τις επιθυμητές αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος, έτσι ώστε να φτάσουμε στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας. Τα δύο αυτά είδη ευαισθησιών περιγράφονται στη συνέχεια.

### *A. Ευαισθησία των εξαρτημένων μεταβλητών και συναρτήσεων*

Η ισορροπία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας περιγράφεται από μια σειρά μη γραμμικών εξισώσεων που μπορούν να γραφούν:

$$g(\underline{x}, \underline{y}) = 0 \quad (1)$$

όπου  $\underline{x}$  είναι ένα διάνυσμα από εξαρτημένες μεταβλητές και το  $\underline{y}$  ένα διάνυσμα από ανεξάρτητες ή καθορισμένες μεταβλητές. Το διάνυσμα  $\underline{x}$  μπορεί να διαιρεθεί στο διάνυσμα  $\underline{u}$  που περιλαμβάνει τις ελεγχόμενες μεταβλητές για ένα συγκεκριμένο υπολογισμό ευαισθησίας, και το διάνυσμα  $\underline{p}$  τις μεταβλητές που θεωρούνται σταθερές στο συγκεκριμένο υπολογισμό. Έστω μια λύση του συστήματος:

$$g(\underline{x}^*, \underline{u}^*, \underline{p}^*) = 0 \quad (2)$$

Αναπτύσσοντας σε σειρά Taylor:

$$g(\underline{x}^* + \Delta \underline{x}, \underline{u}^* + \Delta \underline{u}, \underline{p}^* + \Delta \underline{p}) = 0 \quad (3)$$

$$g(\underline{x}^*, \underline{u}^*, \underline{p}^*) + \frac{\partial g}{\partial \underline{x}} \Delta \underline{x} + \frac{\partial g}{\partial \underline{u}} \Delta \underline{u} + \frac{\partial g}{\partial \underline{p}} \Delta \underline{p} \quad (4)$$

Θα προκύψει

$$\begin{aligned} \frac{\partial g}{\partial \underline{x}} \Delta \underline{x} + \frac{\partial g}{\partial \underline{u}} \Delta \underline{u} + \frac{\partial g}{\partial \underline{p}} \Delta \underline{p} &= 0 \Rightarrow \\ \Delta \underline{x} &= -\left(\frac{\partial g}{\partial \underline{x}}\right)^{-1} \cdot \frac{\partial g}{\partial \underline{u}} \Delta \underline{u} - \left(\frac{\partial g}{\partial \underline{x}}\right)^{-1} \cdot \frac{\partial g}{\partial \underline{p}} \Delta \underline{p} \end{aligned} \quad (5)$$

Μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε τη μεταβολή στο  $\mathbf{x}$  σε σχέση με μια μεταβολή στο  $\mathbf{u}$  ή στο  $\mathbf{p}$ . Πιο συμφέρον είναι όμως να υπολογιστεί η σχετική ευαισθησία ως προς το  $\mathbf{u}_i$

$$\frac{\Delta \underline{x}}{\Delta \underline{u}_i} \quad (6)$$

Πρώτα υπολογίζεται το διάνυσμα

$$[r] = - \left[ \frac{\partial g}{\partial \underline{u}_i} \right] \quad (7)$$

και τελικά υπολογίζεται η σχετική ευαισθησία ως προς το  $\mathbf{u}_i$  επιλύοντας το

$$\left(\frac{\partial g}{\partial \underline{x}}\right) \left(\frac{\Delta \underline{x}}{\Delta \underline{u}_i}\right) = [r] \quad (8)$$

Πλέον μπορούμε να υπολογίσουμε τη μεταβολή οποιασδήποτε συνάρτησης  $F$  από το διαφορικό

$$\Delta F = \frac{\partial F}{\partial \underline{u}_i} \Delta \underline{u}_i + \sum_j \frac{\partial F}{\partial \underline{x}_j} \cdot \frac{\partial \underline{x}_j}{\partial \underline{u}_i} \cdot \Delta \underline{u}_i \quad (9)$$

και τη σχετική μεταβολή από τη σχέση

$$\frac{\Delta F}{\Delta \underline{u}_i} = \frac{\partial F}{\partial \underline{u}_i} + \sum_j \frac{\partial F}{\partial \underline{x}_j} \cdot \frac{\partial \underline{x}_j}{\partial \underline{u}_i} \quad (10)$$

**B. Ευαισθησία μιας αντικειμενικής συνάρτησης F**

Θέλουμε να βρούμε την ευαισθησία της συνάρτησης F ως προς  $\underline{u}$  και  $\underline{p}$ . Αναπτύσσοντας σε σειρά Taylor την

$$F(\underline{x}, \underline{u}), \quad (11)$$

$$g(\underline{x}, \underline{u}, \underline{p}) = 0 \quad (12)$$

θα πάρουμε

$$\Delta F = \frac{\partial F}{\partial \underline{x}} \Delta \underline{x} + \frac{\partial F}{\partial \underline{u}} \Delta \underline{u} \quad (13)$$

Απαλείφοντας το  $\Delta \underline{x}$  θα έχουμε

$$\Delta F = \left( \frac{\partial F}{\partial \underline{u}} - \frac{\partial F}{\partial \underline{x}} \frac{\partial \underline{g}^{-1}}{\partial \underline{x}} \frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{u}} \right) \Delta \underline{u} - \frac{\partial F}{\partial \underline{x}} \frac{\partial \underline{g}^{-1}}{\partial \underline{x}} \frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{p}} \Delta \underline{p} \quad (14)$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση του Lagrange:

$$L = F(\underline{x}, \underline{u}) + \lambda^t g(\underline{x}, \underline{u}, \underline{p}), \quad (15)$$

$$\text{όπου το δυαδικό διάνυσμα } \lambda \text{ είναι: } \frac{\partial F}{\partial \underline{x}} + \frac{\partial \underline{g}^t}{\partial \underline{x}} \quad \lambda = 0 \quad (16)$$

Θα πάρουμε:

$$\Delta F = \frac{\partial L}{\partial \underline{u}} \Delta \underline{u} + \frac{\partial L}{\partial \underline{p}} \Delta \underline{p} \quad (17)$$

Αν έχουμε συγκεκριμένους περιορισμούς στις μεταβλητές ελέγχου θα πρέπει να επιλύσουμε το πρόβλημα:

$$\min F(\underline{x}, \underline{u}) \quad (18)$$

με

$$\begin{aligned} g(\underline{x}, \underline{u}, \underline{p}) &= 0 \\ \underline{u}_{\min} &\leq \underline{u} \leq \underline{u}_{\max} \end{aligned}$$

Θα έχουμε τότε

$$L = F(\underline{x}, \underline{u}) + \lambda' g(\underline{x}, \underline{u}, \underline{p}) + a_{\min}(\underline{u}_{\min} - \underline{u}) + a_{\max}(\underline{u} - \underline{u}_{\max}) \quad (19)$$

Μια αποδοτική διαδικασία επίλυσης για τη βελτιστοποίηση είναι να χρησιμοποιηθεί ένα συγκεκριμένο διάνυσμα ελέγχου  $\mathbf{u}$  και να συσχετιστεί με ένα δυαδικό διάνυσμα.

$$a = a_{\max} - a_{\min} \quad (20)$$

Το δυαδικό διάνυσμα  $a = -\frac{\Delta F}{\Delta u_i}$  αποτελεί την ευαισθησία της συνάρτησης  $F$  ως προς το διάνυσμα ελέγχου  $\mathbf{u}$  για κάθε εφικτή λύση. Αφού έχει επιτευχθεί το βέλτιστο και οι περιορισμοί δεν επιτρέπουν καλύτερη επιλογή του διανύσματος  $\mathbf{u}$ , το δυαδικό διάνυσμα  $a$  θα μετρά την ευαισθησία του διανύσματος  $F$  ως προς τα  $\Delta \mathbf{u}_{\min}$  και  $\Delta \mathbf{u}_{\max}$ .

Παρόμοια για τη δυαδική μεταβλητή  $\lambda$  θα έχουμε: Για δεδομένο  $\mathbf{u}$ , μικρές μεταβολές  $\Delta \mathbf{p}$  της παραμέτρου  $\mathbf{p}$ , θα έχουν σαν συνέπεια μεταβολές  $\Delta \mathbf{x}$ , έτσι ώστε

$$\Delta L = 0 = \frac{\partial F}{\partial \underline{x}} \Delta \underline{x} + \lambda' \frac{\partial g}{\partial \underline{x}} \Delta \underline{x} \quad (21)$$

Αν σκεφτούμε ότι

$$\Delta F \approx -\frac{\partial F}{\partial \underline{x}} \Delta \underline{x} \quad (22)$$

Μπορούμε να βρούμε τελικά πως

$$\Delta F \approx -\lambda' \frac{\partial g}{\partial \underline{x}} \Delta \underline{x} - \lambda' \frac{\partial g}{\partial \underline{p}} \Delta \underline{p} \quad (23)$$