

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ  
ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΗΕ ΠΛΟΙΩΝ ΛΟΓΩ  
ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ-ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΠΛΟΙΟ LNG»

**Φοιτητής:**

**ΣΦΑΚΙΑΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**Επιβλέπων:**

Ιωάννης Προυσαλίδης, Επίκουρος Καθηγητής,  
Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

## Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η ποιότητα ισχύος, τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα, έχει μεγάλη σημασία για τα διάφορα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι ποικίλα με άμεση επίπτωση ακόμα και στην ίδια την λειτουργία των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ). Στη στεριά έχει ήδη γίνει συστηματική μελέτη και τυποποίηση των ΣΗΕ με την εξέλιξη της τεχνολογίας, ενώ αντίθετα στη θάλασσα, το περιβάλλον εμποδίζει τη ναυπηγική βιομηχανία να αναπτυχθεί στον τομέα αυτό. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την μελέτη των ΣΗΕ πάνω σε πλοία και για τα προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν, κυρίως βραχυκυκλώματα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια να αναπτυχθεί μία μεθοδολογία ταξινόμησης των φαινομένων διαταραχών τάσης σε ΣΗΕ πλοίων λόγω βραχυκυκλωμάτων. Η μέθοδος ταξινόμησης των σφαλμάτων τα οποία οφείλονται σε βραχυκυκλώματα, είχε ήδη καταγραφεί σε παλαιότερες εργασίες, μέσω της μοντελοποίησης ενός ΣΗΕ. Έτσι και η παρούσα εργασία βασίστηκε σε πανομοιότυπο μοτίβο.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το 'EMTDC/PSCAD'. Το πλοίο που μελετήθηκε ήταν ένα LNG (Liquefied Natural Gas) λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που έχει όσον αφορά τα ηλεκτρικά φορτία, καθώς και την μη κατασκευή του εντός Ελλάδας τουλάχιστον μέχρι πρόσφατα. Για τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του, έγινε η μοντελοποίηση του αντίστοιχου δικτύου και η εφαρμογή των σφαλμάτων (βραχυκυκλώματα) σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου του.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μία σύντομη αναφορά στους διάφορους τύπους σφαλμάτων που ενδέχεται να εμφανιστούν στο ΣΗΕ του πλοίου και κατηγοριοποίηση των βυθίσεων τάσης που δημιουργούνται. Επίσης μία σύντομη περιγραφή του 'EMTDC/PSCAD'.

Στο κεφάλαιο 3 αρχικά γίνεται μία παρουσίαση του ΣΗΕ του πλοίου LNG και δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην καταγραφή των φορτίων, παρουσιάζοντας τις ιδιαιτερότητές του και τα διάφορα προφίλ λειτουργίας του. Η περιγραφή ακολουθείται από το μοντελοποιημένο στο 'EMTDC/PSCAD' δίκτυο.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στο κεφάλαιο 4. Εδώ περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η ισοδυναμία των διάφορων φορτίων με αντίστοιχους κινητήρες για την μοντελοποίηση τους στο λογισμικό πακέτο. Έπειτα από πολλές εφαρμογές σφαλμάτων στα μοντελοποιημένα δίκτυα του ΣΗΕ του πλοίου LNG καταγράφηκαν οι κυματομορφές των τάσεων και υπό μορφή πινάκων ταξινομήθηκαν οι τιμές των βυθίσεων τάσης.

Τέλος στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται μία ανακεφαλαίωση της παρούσας εργασίας και διατυπώνονται ορισμένες κατευθύνσεις για περαιτέρω διερεύνηση του θέματος.

## **Κεφάλαιο 2. Σημασία της ποιότητας ισχύος σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίων. Κατηγοριοποίηση των βυθίσεων τάσης λόγω βραχυκυκλωμάτων.**

### **2.1. Σημασία της Ποιότητας Ισχύος**

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) έχουν ως αποστολή να παρέχουν ηλεκτρική ισχύ σταθερής τάσης και συχνότητας. Οι αποκλίσεις από αυτό το στόχο αποκαλούνται ως προβλήματα ποιότητας στην παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ και ενέργεια και έχουν άμεση ή έμμεση επίδραση στην εύρυθμη λειτουργία του όλου συστήματος.

Οι επιπτώσεις των φαινομένων κακής ποιότητας παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος ποικίλλουν.

- Διάφορα φορτία ευαίσθητα σε μεταβολές της παρεχόμενης ισχύος (όπως ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου, μετρήσεων, επικοινωνιών κ.λπ.) δεν μπορούν να λειτουργήσουν ομαλά και αξιόπιστα καθιστώντας έτσι τα προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος ισοδύναμης σημασίας με αυτήν της τροφοδότησης ισχύος.
- Στις στρεφόμενες μηχανές αναπτύσσονται μηχανικές ταλαντώσεις, κραδασμοί ή και συντονισμοί με έντονο θόρυβο και υπερθερμάνσεις που είναι βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα βλαβεροί για τη ζωή των συσκευών αυτών.
- Οι υπερτάσεις καταπονούν τις μονώσεις, οδηγώντας τις προοδευτικά ή ακαριαία σε αστοχία προκαλώντας τελικά βραχυκυκλώματα.
- Οι βυθίσεις τάσης, πέραν της δυσάρεστης ψυχολογικής επίδρασης στον ανθρώπινο παράγοντα, μπορούν να οδηγήσουν το ΣΗΕ σε αστάθεια. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι αυτή ενός κινητήρα επαγωγής, ο οποίος μετά από κάθε βύθιση (που μπορεί να προξενήθηκε επειδή εκκίνησε κάποιος άλλος κινητήρας), απορροφά ισχυρό ρεύμα εκκινήσεως που οδηγεί σε νέα μεγαλύτερη βύθιση.

Γενικά καμιά συσκευή δεν λειτουργεί στα προδιαγεγραμμένα από τους κατασκευαστές σημεία λειτουργίας της, όπου εξασφαλίζονται υψηλές αποδόσεις και χαμηλές απώλειες (βέλτιστη οικονομική λειτουργία).

Έχοντας λοιπόν, υπόψη ότι τελικά και αυτή η επιβιωσιμότητα ενός πλοίου (που αναφέρεται σε συστήματα υποστήριξης ανθρώπινης ζωής, συστήματα πλοήγησης, συστήματα πλεύσης και πρόωσης κοκ) θα στηρίζεται στην καλή λειτουργία του ΣΗΕ του, γίνεται αντιληπτό πόσο σημαντικό είναι να είναι γνωστά, καταγεγραμμένα, αναλυμένα και ταξινομημένα κατά σειρά σπουδαιότητας τα διάφορα προβλήματα λειτουργίας.

## 2.2. Ιδιαιτερότητες των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας στα πλοία.

Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ενός πλοίου έχει κάποιες ομοιότητες αλλά και αρκετές διαφορές με τα αντίστοιχα συστήματα (δίκτυα) ξηράς, όπως μεταξύ των άλλων το ότι:

- είναι συγκεντρωμένο δίκτυο σε πολύ μικρό χώρο ανά μονάδα ισχύος (σε σύγχρονες ναυπηγήσεις με ηλεκτρική πρόωση, η εγκατεστημένη ισχύς φτάνει τα 40-80 MW σε έκταση μερικών δεκάδων τετραγωνικών μέτρων),
- η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω συστήματος διανομής (καλωδιώσεις, μετασχηματιστές, διακόπτες κλπ) πολύ περιορισμένου μήκους (της τάξης των 50 έως το πολύ 1000 μέτρων),
- δεν διαθέτει την εφεδρεία από διασύνδεση με άλλα γειτονικά συστήματα (παρά μόνον τις μονάδες εκτάκτου ανάγκης),
- το δίκτυο γείωσής του είναι κατά κανόνα αγείωτο,
- διαθέτει υποσυστήματα συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος σε διάφορες συχνότητες λειτουργίας, (η γνωστή «βιομηχανική συχνότητα» των 50 ή 60 Hz, αλλά και αυτή των 400 Hz για εξειδικευμένου τύπου καταναλωτές, όπως π.χ. όργανα ναυσιπλοΐας, ραντάρ, οπλικά συστήματα κοκ),
- Το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ενέργειας καταναλώνεται από ηλεκτρικούς κινητήρες (είτε ως κύρια πρόωση είτε ως βοηθητικά μηχανήματα). Επιπλέον εκτός από τα δυναμικά φορτία των κινητήρων υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός μη γραμμικών φορτίων, για παράδειγμα παλμικά φορτία οπλικών συστημάτων ή συστημάτων πλοήγησης.

- η εκτεταμένη πλέον χρήση διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος κυρίως για τον έλεγχο των κινητήρων κύριας ή βοηθητικής πρόωσης εισάγει νέα αυξημένα προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος.

Τα επιμέρους φαινόμενα Ποιότητας Ισχύος σε ΣΗΕ πλοίων είναι διαφορετικής σημασίας και βαρύτητας από τα αντίστοιχα φαινόμενα που παρουσιάζονται σε ΣΗΕ ξηράς.

Για παράδειγμα, μια βιομηχανική μονάδα στη ξηρά, ανάλογα με το είδος τιμολογίου το οποίο έχει προσυμφωνήσει με τον Προμηθευτή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υποχρεωμένη στην είσοδο του κεντρικού πίνακα του εργοστασίου ο Συντελεστής Ισχύος να είναι μεγαλύτερος από μία ελάχιστη τιμή. Εάν υπάρχει κάποια υπέρβαση τότε επιβάλλονται χρηματικά πρόστιμα ή ακόμα αλλάζει η ίδια η τιμολόγηση. Η παραγωγική μονάδα λοιπόν χρησιμοποιεί ενέργεια χαμηλής ποιότητας και επιπλέον πληρώνει το άμεσο κόστος των προστίμων. Υπάρχει βέβαια και η περίπτωση η τάση τροφοδοσίας να απέχει από τις προδιαγραφές με υπαιτιότητα του Προμηθευτή, οπότε μπορεί ο καταναλωτής, εάν μπορεί να το αποδείξει, να αποζημιωθεί.

Όσο περισσότερο μηχανοποιημένη είναι η παραγωγική διαδικασία τόσο μεγαλύτερο είναι το πρόβλημα. Σε ιδιαίτερα αυτοματοποιημένες μονάδες η χαμηλή ποιότητα ισχύος μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε διακοπή της παραγωγής με σημαντικές οικονομικές συνέπειες.

Στην περίπτωση ενός ΣΗΕ πλοίου ο διαχωρισμός παραγωγού και καταναλωτή δεν υπάρχει. Οι απαιτήσεις είναι πιο ουσιαστικές και αφορούν αποκλειστικά την σωστή λειτουργία του ίδιου του σκάφους και όχι την τιμολόγηση ή τα πρόστιμα. Το κυρίαρχο ζητούμενο είναι η καλή και αδιάλειπτη λειτουργία του ΣΗΕ με τα ονομαστικά μεγέθη τάσης και συχνότητας.

Γενικότερα στα πλοία η έννοια της αξιοπιστίας έχει ακόμα μεγαλύτερη σημασία σε σχέση με τη ξηρά. Μία αστοχία σε ένα κρίσιμο ηλεκτρικό φορτίο μπορεί να στοιχίσει την ακεραιότητα του ίδιου του σκάφους και κυρίως να τεθούν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. Το πλοίο είναι μία πλήρης και αυτόνομη βιομηχανική μονάδα που λειτουργεί κάτω από αντίξοες και συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες, γι' αυτό το λόγο πρέπει να υπάρχει συνεχής ροή ηλεκτρικής ενέργειας.

## 2.3 Παρουσίαση των υπάρχουσών μεθοδολογιών αξιολόγησης των προβλημάτων ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος που οφείλονται σε σφάλματα

Για τις περιπτώσεις των βυθίσεων τάσεως που οφείλονται σε σφάλματα (συμμετρικά ή ασύμμετρα) έχουν αναπτυχθεί από τον Καθηγητή M.H.I Bollen δύο μέθοδοι [2]. Η πρώτη και η λιγότερο ακριβής, η επονομαζόμενη ‘ABC’, ταξινομεί όλες τις περιπτώσεις σε επτά (7) ομάδες (A έως F). Η δεύτερη ονομάζεται μέθοδος ‘Συμμετρικών Συνιστωσών’ και όπως προδίδει το όνομα της, στηρίζεται στην ανάλυση σε συμμετρικές συνιστώσες.

### 2.3.1 Σύντομη παρουσίαση της μεθόδου ABC

Πρόκειται για την πιο παλιά μέθοδο ταξινόμησης αλλά και την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη. Αυτό οφείλεται στο ότι είναι πολύ απλή στη χρήση της.

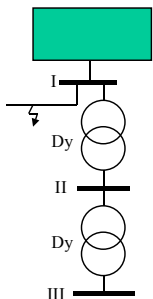
Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αντίστροφα. Πιο συγκεκριμένα, παρακολουθώντας το ΣΗΕ με μετρήσεις (τάσης) σε συγκεκριμένα σημεία, μπορεί, εν γένει με σειρά υπολογισμών, να ταυτοποιηθεί το είδος ακόμα και η θέση του συμβάντος που λαμβάνει χώρα. Επίσης γνωρίζοντας τα πιθανά σφάλματα που μπορούν να συμβούν και τι επιπτώσεις θα έχουν στην τάση στα διάφορα σημεία του δικτύου, μας δίνεται η δυνατότητα να εξετάσουμε εάν ο εξοπλισμός μας θα ανταποκριθεί ικανοποιητικά.

Η ABC ταξινομεί όλες τις περιπτώσεις σε επτά (7) ομάδες (A έως F) όπως αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1. Όπου  $E_1$  είναι η τάση (στρεφόμενος μιγάδας, phasor) στην φάση A πριν το σφάλμα, και  $V^*$  (στρεφόμενος μιγάδας) η τάση στη φάση με το σφάλμα ή μεταξύ των φάσεων με σφάλμα.

Πίνακας 2.1. Κατάταξη των πτώσεων τάσης σύμφωνα με τη μέθοδο ABC

| Τύπος | Τάσεις  | Μιγαδικές Αναπαραστάσεις |
|-------|---|--------------------------|
| A     | $U_a = V^*$<br>$U_b = -\frac{1}{2}V^* - \frac{1}{2}jV^*\sqrt{3}$<br>$U_c = -\frac{1}{2}V^* + \frac{1}{2}jV^*\sqrt{3}$   |                          |
| B     | $U_a = V^*$<br>$U_b = -\frac{1}{2}E_1 - \frac{1}{2}jE_1\sqrt{3}$<br>$U_c = -\frac{1}{2}E_1 + \frac{1}{2}jE_1\sqrt{3}$   |                          |
| C     | $U_a = E_1$<br>$U_b = -\frac{1}{2}E_1 - \frac{1}{2}jV^*\sqrt{3}$<br>$U_c = -\frac{1}{2}E_1 + \frac{1}{2}jV^*\sqrt{3}$   |                          |
| D     | $U_a = V^*$<br>$U_b = -\frac{1}{2}V^* - \frac{1}{2}jE_1\sqrt{3}$<br>$U_c = -\frac{1}{2}V^* + \frac{1}{2}jE_1\sqrt{3}$   |                          |
| E     | $U_a = E_1$<br>$U_b = -\frac{1}{2}V^* - \frac{1}{2}jV^*\sqrt{3}$<br>$U_c = -\frac{1}{2}V^* + \frac{1}{2}jV^*\sqrt{3}$   |                          |
| F     | $U_a = V^*$<br>$U_b = -\frac{1}{2}V^* - (\frac{1}{3}E_1 + \frac{1}{6}V^*)j\sqrt{3}$<br>$U_c = -\frac{1}{2}V^* + (\frac{1}{3}E_1 + \frac{1}{6}V^*)j\sqrt{3}$                         |                          |
| G     | $U_a = \frac{2}{3}E_1 + \frac{1}{3}V^*$<br>$U_b = -\frac{1}{3}E_1 - \frac{1}{6}V^* - \frac{1}{2}jV^*\sqrt{3}$<br>$U_c = -\frac{1}{3}E_1 - \frac{1}{6}V^* + \frac{1}{2}jV^*\sqrt{3}$ |                          |

Πίνακας 2.2. Πτώσεις τάσης σε διαφορετικά επίπεδα τάσης και για διαφορετικούς τύπους σφαλμάτων.



| Τύπος Σφάλματος        | Τοποθεσία Σφάλματος |    |     |
|------------------------|---------------------|----|-----|
|                        | I                   | II | III |
| Three-phase            | A                   | A  | A   |
| Two-phase-to-ground    | E                   | F  | G   |
| Two-phase              | C                   | D  | C   |
| Single-phase-to-ground | B                   | C  | D   |

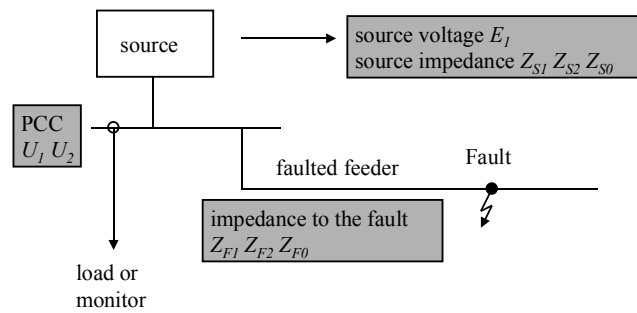


### 2.3.2 Σύντομη παρουσίαση της μεθόδου των ‘Συμμετρικών Συνιστωσών’.

Η πλέον μεθοδική εργασία όσον αφορά στη συστηματική ταξινόμηση των προβλημάτων ηλεκτρικής ισχύος γίνεται από την ομάδα υπό τον καθηγητή M. Bollen. Η δεύτερη αυτή μέθοδος δεν στηρίζεται απλά σε προσομοιώσεις, αλλά έχει θεωρητική βάση και πιο συγκεκριμένα βασίζεται στην ανάλυση σε συμμετρικές συνιστώσες. Είναι ακριβέστερη και πιο γενική καθώς λαμβάνει υπόψη και τις καταστάσεις ασύμμετρης λειτουργίας των τριφασικών ΣΗΕ Εναλλασσόμενου Ρεύματος (**EP**), αλλά και το γεγονός ότι αυτές εξελίσσονται εν γένει στο χρόνο. Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα να ληφθούν υπόψη και η επίδραση των δυναμικών φορτίων. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αντίστροφα.

Ο συμβολισμός που θα χρησιμοποιηθεί παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1 και είναι :

- PCC (Point of Common Coupling) το σημείο κεντρικής τροφοδοσίας καταναλωτή από την Ηλεκτρική Εταιρεία. Στο πλοίο το PCC μπορεί να θεωρηθεί ο κεντρικός ζυγός των γεννητριών.
- $U_1$  είναι η θετική συνιστώσα της παραμένουσας τάσης στο σημείο PCC.
- $U_2$  είναι η αρνητική συνιστώσα της παραμένουσας τάσης στο σημείο PCC.
- $E_1$  είναι η πριν το σφάλμα τάση στο σημείο PCC.
- $Z_{FI}$  είναι η αντίδραση (θετική συνιστώσα) μεταξύ του σημείου PCC και του σημείου όπου έχει συμβεί το σφάλμα.
- $Z_{SI}$  είναι η αντίδραση (θετική συνιστώσα) μεταξύ της γεννήτριας και του σημείου PCC.



Σχήμα 2.1. Απλοποιημένο διαγραμματικό σχέδιο ενός δικτύου που υπόκειται σε ασύμμετρο τριφασικό σφάλμα

Στην μέθοδο επίσης μεγάλη σημασία έχουν τα μεγέθη :

- V: Χαρακτηριστική τάση (Characteristic Voltage)
- F: Συντελεστής PN (Potential Neutral factor)

Όπου ανάλογα με το σφάλμα το οποίο έχει συμβεί, δίνονται από απλές συναρτήσεις της μορφής :

$$V = f(Z_{S0}, Z_{S1}, Z_{S2}, Z_{F1}, Z_{F2}, Z_{F0}, E_1, V^*) \quad (2.1)$$

$$F = g(Z_{S0}, Z_{S1}, Z_{S2}, Z_{F1}, Z_{F2}, Z_{F0}, E_1, V^*) \quad (2.2)$$

Βασιζόμενοι στην θεωρία των ‘Συμμετρικών Συνιστωσών’ προκύπτει ο Πίνακας 2.3 με την κατάταξη των πτώσεων τάσης που παρουσιάζονται.

Πίνακας 2.3. Κατάταξη των πτώσεων τάσης που παρουσιάζονται και υπολογισμός των V, F.

| Τύπος | Φάσεις με Πτώση τάσης | ‘Characteristic voltage’ | ‘PN factor’        |
|-------|-----------------------|--------------------------|--------------------|
| Ca    | bc                    | $V = U_1 - U_2$          | $F = U_1 + U_2$    |
| Cb    | ac                    | $V = U_1 - a^2U_2$       | $F = U_1 + a^2U_2$ |
| Cc    | ab                    | $V = U_1 - aU_2$         | $F = U_1 + aU_2$   |
| Da    | a                     | $V = U_1 + U_2$          | $F = U_1 - U_2$    |
| Db    | b                     | $V = U_1 + a^2U_2$       | $F = U_1 - a^2U_2$ |
| Dc    | c                     | $V = U_1 + aU_2$         | $F = U_1 - aU_2$   |

\*α = περιστροφή στο μιγαδικό επίπεδο κατά 120 μοίρες

Μετρώντας τα  $U_1$  και  $U_2$  στο σημείο PCC έχουμε την δυνατότητα με τη βοήθεια της θεωρίας των ‘Συμμετρικών Συνιστωσών’ να προσδιορίσουμε την κατηγορία της πτώσης τάσης. Με γνωστή την κατηγορία της πτώσης τάσης και με την βοήθεια του Πίνακα 2.3 υπολογίζονται τα μεγέθη V, F. Θεωρώντας επίσης, ότι τα μεγέθη  $Z_{S0}, Z_{S1}, Z_{S2}, E_1, V^*$  είναι γνωστά και ότι οι αντιδράσεις  $Z_{F1}, Z_{F2}, Z_{F0}$ , είναι συναρτήσεις της θέσης του σφάλματος, μέσω των Εξισώσεων 2.1 & 2.2 είναι δυνατόν να εντοπιστεί η θέση του σφάλματος, το οποίο έχει και τη μεγαλύτερη πρακτική σημασία.

### 2.3.3. Συσχέτιση των δύο μεθόδων και η εφαρμογή τους σε πλοία

Οι δύο μέθοδοι ταξινόμησης που ήδη έχουν αναφερθεί δεν πρέπει να θεωρηθούν σαν δύο ανεξάρτητες, τελείως διαφορετικές μεταξύ τους μέθοδοι. Η ταξινόμηση κατά ABC είναι μία ειδική περίπτωση της πιο γενικής μεθόδου των ‘Συμμετρικών Συνιστωσών’. Οι σχέσεις που συνδέουν τις δύο μεθόδους παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4 που ακολουθεί.

Πίνακας 2.4. Συσχέτιση των δύο μεθόδων ταξινόμησης.

| Τύπος κατά ABC | Τύπος κατά 'Συμ.Συνιστ.' | 'Characteristic voltage'              | 'PN factor'                           | 'zero-sequence voltage'                 |
|----------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| A              | Οποιοσδήποτε             | $V = V^*$                             | $F = V^*$                             | $U_0 = 0$                               |
| B              | Da                       | $V = \frac{1}{3}E_1 + \frac{2}{3}V^*$ | $F = E_1$                             | $U_0 = \frac{1}{3}V^* - \frac{1}{3}E_1$ |
| C              | Ca                       | $V = V^*$                             | $F = E_1$                             | $U_0 = 0$                               |
| D              | Da                       | $V = V^*$                             | $F = E_1$                             | $U_0 = 0$                               |
| E              | Ca                       | $V = V^*$                             | $F = \frac{2}{3}E_1 + \frac{1}{3}V^*$ | $U_0 = \frac{1}{3}E_1 - \frac{1}{3}V^*$ |
| F              | Da                       | $V = V^*$                             | $F = \frac{2}{3}E_1 + \frac{1}{3}V^*$ | $U_0 = 0$                               |
| G              | Ca                       | $V = V^*$                             | $F = \frac{2}{3}E_1 + \frac{1}{3}V^*$ | $U_0 = 0$                               |

Πρέπει να τονιστεί ότι και οι δύο προαναφερθείσες μέθοδοι αναφέρονται σε ηπειρωτικά δίκτυα. Αντανακλούν έντονα τα χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών, καθώς αναφέρονται σε μεγάλο μήκος δίκτυα μεταφοράς, δίκτυα υπερύψηλης τάσης (>>110 kV) και κυρίως γειωμένα συστήματα μέσω ωμικής αντίστασης πολύ μικρής τιμής. Από την άλλη πλευρά, όσον αφορά στα προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος σε ΣΗΕ πλοίων δεν υπάρχει αξιόλογη συγκεντρωμένη προσπάθεια μεθοδικής ανάλυσής τους. Μόνο μεμονωμένα σε ορισμένα σημεία κάποιοι κανονισμοί έρχονται να δώσουν μία ιδιαίτερη βαρύτητα για τα ΣΗΕ πλοίων (π.χ. Germanischer Lloyds, Lloyds Register of Shipping). Βάση των κανονισμών του 'Germanischer Lloyds' αποτελεί το 'International Standard 61363' του διεθνή οργανισμού IEC.

Η φιλοσοφία του '61363' είναι η απλή μοντελοποίηση όλων των στοιχείων ενός δικτύου (κινητήρες, γεννήτριες, μετασχηματιστές, κ.α.) και ο υπολογισμός κατά προσέγγιση του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Μάλιστα επειδή στόχος είναι η επιλογή της κατάλληλης προστασίας του δικτύου, η μοντελοποίηση καλύπτει μόνο την περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος, η οποία είναι συνήθως η δυσμενέστερη.

Σε αυτό το σημείο είναι φανερό ότι ειδικά για την περίπτωση ταξινόμησης των σφαλμάτων σε ΣΗΕ πλοίων υπάρχει ένα κενό. Σε αυτό το συμπέρασμα δρουν προσθετικά όλα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ενός ΣΗΕ πλοίου, τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί στην Ενότητα 2.2.

Ενδιαφέρον επίσης είναι ότι, η μέθοδος ABC δεν λαμβάνει υπόψη τα δυναμικά φορτία, ενώ και η μέθοδος των ‘Συμμετρικών Συνιστωσών’ τα μοντελοποιεί με απλό τρόπο. Γνωρίζοντας λοιπόν ότι οι βασικοί καταναλωτές σε ένα πλοίο είναι οι κινητήρες και ιδιαίτερα στην περίπτωση που έχουμε Ηλεκτρική Πρόωση, συμπεραίνει κανείς ότι η μέθοδος των ‘Συμμετρικών Συνιστωσών’ και μαζί της η ABC, πρέπει να επεκταθούν κατάλληλα, ώστε να προσαρμοστούν στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ενός ΣΗΕ πλοίου.

## 2.4 Σύντομη Παρουσίαση του λογισμικού EMTDC/PSCAD

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, για να καταστεί δυνατή η μοντελοποίηση και η μελέτη της λειτουργίας τμημάτων του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενός πλοίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό EMTDC/PSCAD.

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα αλλά και συνάμα δύσκολο στη λύση θέμα, είναι η μελέτη της συμπεριφοράς ενός πολυπαραμετρικού συστήματος, όταν αυτό υπόκειται σε διάφορου είδους στιγμιαίες διαταραχές και αλλαγές των παραμέτρων λειτουργίας του. Η κυριότερη δυσκολία είναι ότι η αλλαγή των παραμέτρων οδηγεί στη δημιουργία μεταβατικών φαινομένων. Στα ηλεκτρικά δίκτυα τα μεταβατικά φαινόμενα είναι κυρίως ηλεκτρομαγνητικής φύσεως και οι εξισώσεις που τα διέπουν πολύπλοκες και δυσεπίλυτες, η χρήση λοιπόν ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι απαραίτητη. Το EMTDC είναι ένα από τα πιο αποτελεσματικά λογισμικά εργαλεία για την μελέτη τέτοιου είδους φαινομένων .

Το EMTDC είναι πρόγραμμα προσομοίωσης Ηλεκτρολογικών Δικτύων με δυνατότητα μοντελοποίησης Ηλεκτρονικών Ισχύος, συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου και μη γραμμικών στοιχείων ενός δικτύου. Πρόκειται για ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο λογισμικό και ήδη από το 1990 το EMTDC ενισχύθηκε με το λογισμικό PSCAD, όπου ο χρήστης εργάζεται σε ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον. Ο συνδυασμός EMTDC/PSCAD διαθέτει μία πλούσια ‘βιβλιοθήκη’ με έτοιμα για

χρήση 'στοιχείων' και συνάμα πλήθος έτοιμων βασικών εφαρμογών των οποίων τα στοιχεία μπορούν να αντιγραφούν και να χρησιμοποιηθούν από τον χρήστη. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει καινούργια 'στοιχεία' προγραμματίζοντας είτε σε 'Fortran', είτε μέσω του 'Matlab'.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι το EMTDC/PSCAD δημιουργήθηκε από Ηλεκτρολόγους Μηχανικούς, προοριζόμενο για χρήση επίσης από Ηλεκτρολόγους Μηχανικούς.. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η μοντελοποίηση του Ηλεκτρολογικού Δικτύου, των Ηλεκτρονικών Ισχύος και των Συστημάτων Ελέγχου να είναι παραπάνω από ικανοποιητική, σε αντίθεση με την μοντελοποίηση του μηχανολογικού εξοπλισμού (Prime Movers). Υπάρχουν έτοιμα μοντέλα μόνο για υδροστρόβιλους και για ατμοστρόβιλους, των οποίων η μοντελοποίηση υστερεί έναντι αυτής του Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού. Τη λύση αυτού του προβλήματος, αποτελεί ο δυναμικός χαρακτήρας του προγράμματος, όπου ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει δικά του στοιχεία ανάλογα με τις ανάγκες του.

### **Κεφάλαιο 3. Περιγραφή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου LNG(Liquefied Natural Gas) και ιδιαιτερότητες αυτού.**

Λόγω της ιδιαιτερότητας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοία καθώς και της αύξουσας σημασίας που έχει για τη χώρα μας η εμπορία φυσικού αερίου, το πλοίο που χρησιμοποιήθηκε για μελέτη στην παρούσα εργασία ήταν ένα πλοίο LNG(Liquefied Natural Gas).

#### **3.1 Παρουσίαση του νεοκατασκευασθέντα αγωγού φυσικού αερίου**

Ο ελληνοτουρκικός αγωγός φυσικού αερίου που κατασκευάστηκε με σκοπό την προώθηση από την περιοχή του Καυκάσου και της Κασπίας, της ενεργειακής αποθήκης για όλη την Ευρώπη, σήμανε την έναρξη μιας νέας ενεργειακής προοπτικής για τη χώρα μας.

Σχετική συμφωνία υπεγράφη το 2003 μεταξύ της ΔΕΠΑ και της τουρκικής BOTAS, καθώς η δεύτερη ανέκτησε το δικαίωμα από το Αζερμπαϊτζάν να εξαγάγει ποσότητες ως 750 εκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου το χρόνο προς την Ελλάδα.

Η αύξηση των ποσοτήτων προς την Ελλάδα θα εξαρτηθεί από την πορεία των διαπραγματεύσεων Τουρκίας-Αζερμπαϊτζάν για τους όρους εμπορίας του φυσικού αερίου, μέσω του τουρκικού δικτύου. Ως γνωστό η Ελλάδα, καθώς και η Ιταλία ενδιαφέρονται να τροφοδοτήσουν τον αγωγό με 11,6 δισ. κυβικά μέτρα φυσικού αερίου το χρόνο. Από αυτά τα 3,6 δισ. θα είναι για το ελληνικό δίκτυο και τα 8 δισ. κυβικά για την Ιταλία, όπου θα καταλήγουν μέσω του Ελληνο-Ιταλικού αγωγού.

Ο αγωγός έχει σήμερα δυναμικότητα 3,6 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων το χρόνο. Στο σύνολό του έχει μήκος 280 χιλιόμετρα, από τα οποία τα 80 βρίσκονται επί ελληνικού εδάφους (Κομοτηνή - Κήποι). Η αύξηση της δυναμικότητάς του για την τροφοδοσία της Ιταλίας θα γίνει με την προσθήκη συμπιεστών επί τουρκικού εδάφους.

Στην ολοκλήρωσή του το έργο, δηλαδή ο αγωγός Τουρκίας - Ελλάδας - Ιταλίας, θα έχει μήκος περίπου 600 χιλιόμετρα επί ελληνικού εδάφους (Κήποι - Θεσπρωτία) και 280 χιλιόμετρα υποθαλασσίως στη Θεσσαλονίκη (Θεσπρωτία - Οτράντο).

Συνεπάγεται, επομένως ότι η κατασκευή του αγωγού φυσικού αερίου θα συμβάλλει στην περαιτέρω ανάπτυξη της χώρας μας στον τομέα αυτό. Παρόλο που μέχρι πρόσφατα δεν κατασκευάζονταν πλοία που μεταφέρουν φυσικό αέριο(LNG) στη χώρα μας, τώρα με τα νέα δεδομένα ίσως δοθεί ώθηση και στον τομέα της ναυτιλίας με σκοπό την ναυπήγηση νέων πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, και την εξαγωγή του αερίου αυτού προς όλες τις χώρες.

### 3.2 Περιγραφή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) του πλοίου LNG

Τα αρχικά δεδομένα που μας δόθηκαν ήταν οι 3 καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου: Sea Going, Cargo Unloading και Gas System A με τα αντίστοιχα ηλεκτρικά τους φορτία. Μέσω της ονομαστικής τους ισχύος και τον όποιο συντελεστή φορτίου υπήρχε, εξήγαμε την συνεχή ισχύ λειτουργίας για κάθε καταναλωτή και το συνολικό άθροισμα για το δίκτυο του υπό μελέτη πλοίου.

Σύμφωνα με τον κανονισμό του Γερμανικού Νηογνώμονα '61363' για τη μοντελοποίηση του δικτύου απαιτείται η κατά κάποιο τρόπο συγχώνευση, των πολύ μικρών (<100KW) καταναλωτών σε έναν και μοναδικό ισοδύναμο καταναλωτή ούτως ώστε να διευκολυνθεί η μελέτη του δικτύου μας στο λογισμικό πακέτο EMTDC/PSCAD. Οι μεγάλοι κινητήρες (>100KW) μένουν ως έχουν.

Η μοντελοποίηση έγινε με τη μορφή μεγάλων ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος τυλιγμένου δρομέα (wound rotor). Προκύπτει επομένως ο παρακάτω Πίνακας 3.1:



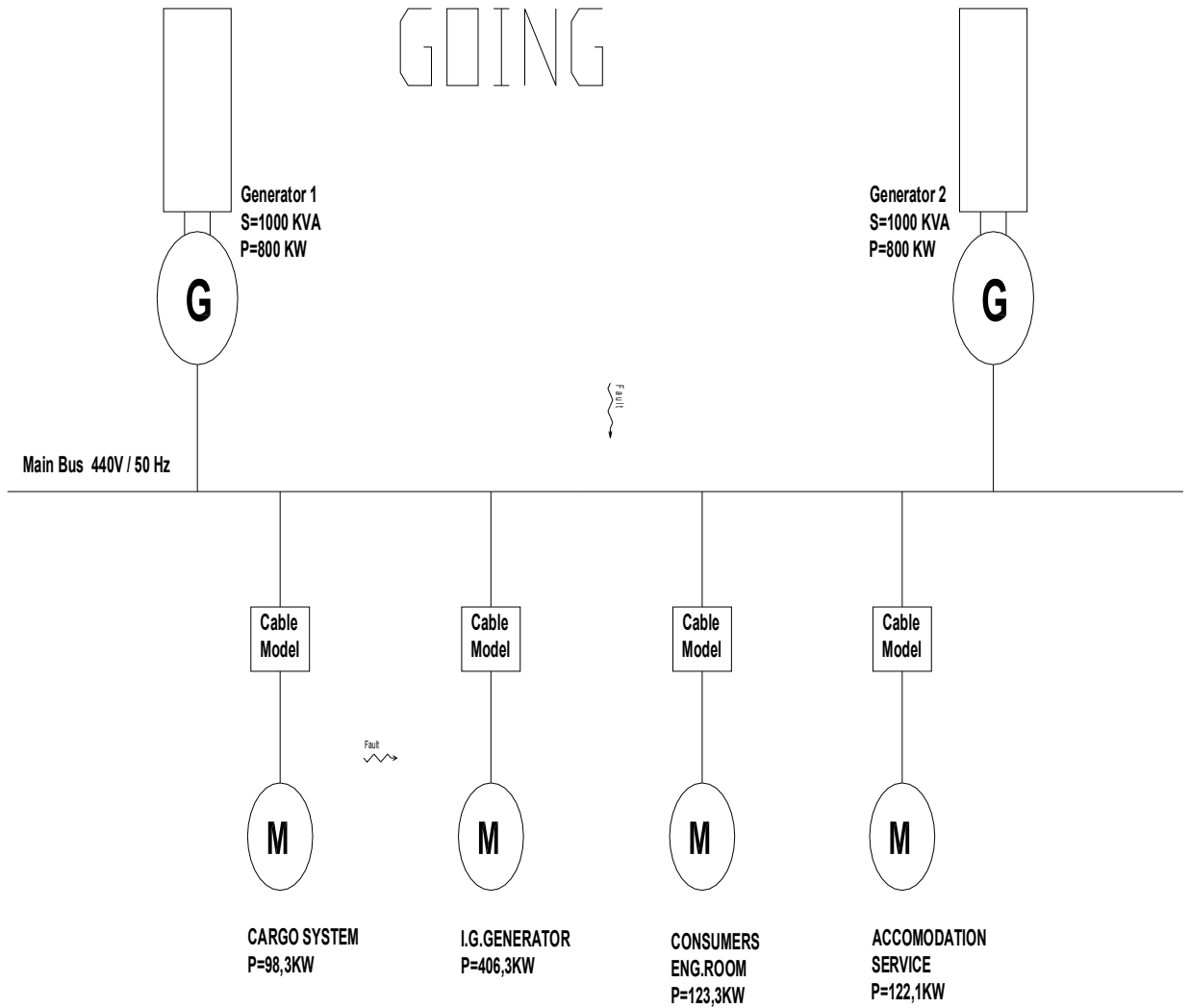
Πίνακας 3.1. Ισολογισμός του φορτίου

| <b>GAS SYSTEM A</b> | <b>KW</b>     | <b>CARGO UNLOADING</b> | <b>KW</b>      | <b>SEA GOING</b>       | <b>KW</b>     |
|---------------------|---------------|------------------------|----------------|------------------------|---------------|
|                     |               |                        |                |                        |               |
| Cargo System        | 124,52        | Cargo System           | 99,50          | Cargo System           | 98,30         |
| Eng.Room Consumers  | 144,10        | #1 Deep Well Pump      | 119,40         | I.G Generator          | 406,30        |
|                     |               | #2 Deep Well Pump      | 119,40         | Eng.Room Consumers     | 123,30        |
| <b>TOTAL</b>        | <b>268,62</b> | #3 Deep Well Pump      | 119,40         | Accomodation Consumers | 122,10        |
|                     |               | #4 Deep Well Pump      | 119,40         |                        |               |
|                     |               | #5 Deep Well Pump      | 167,00         | <b>TOTAL</b>           | <b>750,00</b> |
|                     |               | #6 Deep Well Pump      | 167,00         |                        |               |
|                     |               | Eng.Room Consumers     | 144,00         |                        |               |
|                     |               |                        |                |                        |               |
|                     |               | <b>TOTAL</b>           | <b>1055,10</b> |                        |               |

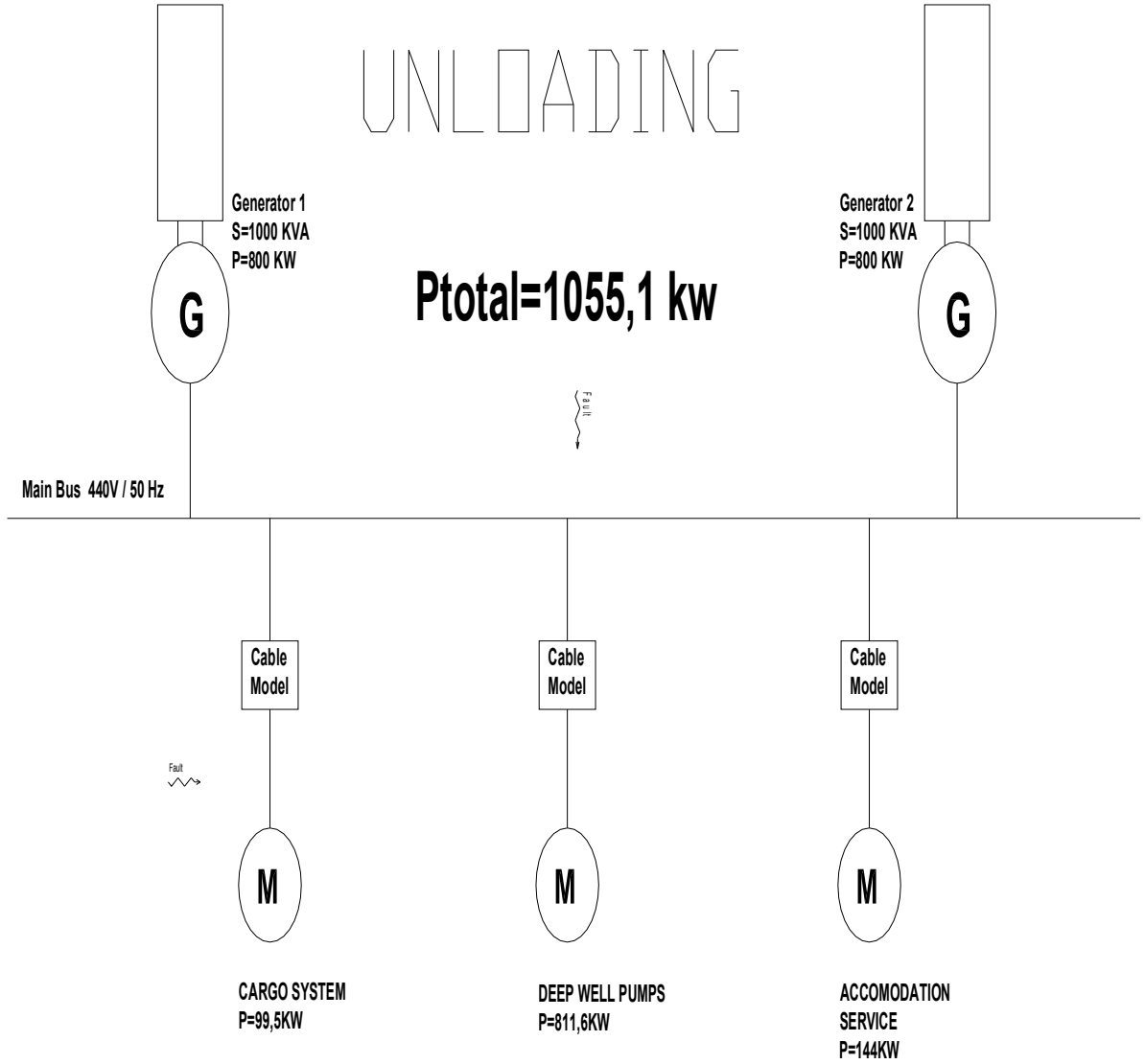
Σε κάθε κατάσταση επιλέχθηκαν 2 γεννήτριες + 1 εφεδρική (emergency) με ονομαστικό φορτίο 800KW(1000 KVA) με βάση τυποποιημένους πίνακες ισχύος γεννητριών για να καλύπτεται κάθε κατάσταση. Παρακάτω φαίνονται τα μονογραμμικά διαγράμματα για κάθε κατάσταση λειτουργίας.

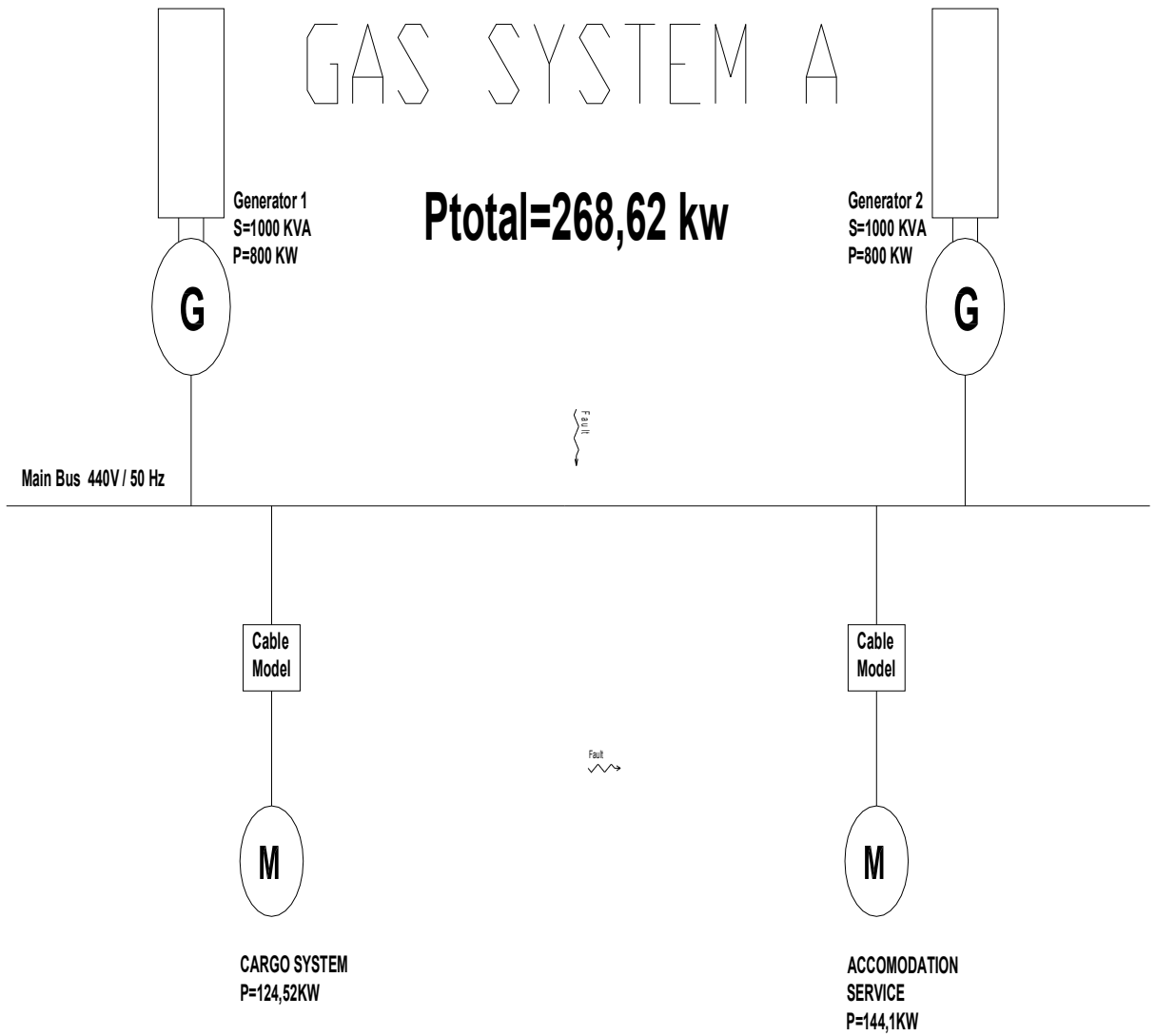
SEA  
GOING

**Ptotal=750 kw**



# CARGO UNLOADING





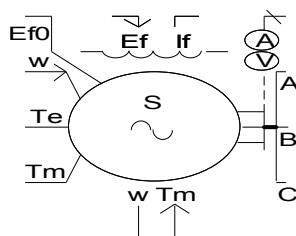
### 3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά των στοιχείων των δικτύων

Ακολουθούν παρακάτω τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των κύριων στοιχείων που συνθέτουν τα υπό μελέτη δίκτυα.

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά της Πηγής Εναλλασσόμενης Τάσης :

- Παραγόμενη τάση,  $V_{Source}$  (L-L, rms) = 254 V ή 0,254 KV
- Συχνότητα παραγόμενης τάσης = 50 Hz
- Συντελεστής ισχύος,  $\cos\phi = 0,80$
- Εσωτερική ωμική αντίσταση,  $R_S = 2.3 \text{ ohm}$
- Εσωτερική επαγωγική αντίσταση,  $X_S = 0.0127 \text{ H}$  (παράλληλα συνδεδεμένη με την αντίσταση,  $R_S$ )

$V_{\text{φασικό}} = V_{\text{πολικό}} / \sqrt{3} = 440 / \sqrt{3} = 254 \text{ V}$  σε σύνδεση αστέρα.



Σχήμα 3.1. Γραφική απεικόνιση της πηγής στο 'PSCAD'.

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά των Ασύγχρονων κινητήρων :

Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ενός ασύγχρονου κινητήρα τυλιγμένου δρομέα και πιο συγκεκριμένα με :

- Ισχύ,  $P_{\text{motor}} = (\text{ανάλογα}) \text{ kW}$
- Τάση λειτουργίας τα 440 V (50 Hz)
- Έξι πόλους
- Συντελεστής ισχύος,  $\cos\phi = 0.80$
- Μηχανικές απώλειες  $P_m = 0.01 \text{ p.u}$
- Ροπή αδράνειας  $J = 4 \text{ p.u}$

Σχετικά με τα στοιχεία των ωμικών αντιστάσεων και των επαγωγικών αντιδράσεων των τυλιγμάτων του κινητήρα δεν κατέστη δυνατόν να βρεθούν τιμές από κατασκευαστές κινητήρων. Η λύση δόθηκε χρησιμοποιώντας έτοιμα δεδομένα από τον κανονισμό IEC-61363 όπου ανάλογα με την ταξινόμηση των κινητήρων σε μικρούς και μεγάλους ( $<$  ή  $>100\text{kW}$ ) υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά του ισοδύναμου κυκλώματος. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι εμπειρικές σχέσεις:

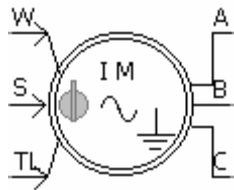
Για μεγάλους κινητήρες :

- $Z''_M(\text{p.u}) = 0.16 \text{ pu}$
- $X''_M(\text{p.u}) = 0.15 \text{ pu}$
- $r_s = 0.034 \text{ pu}$
- $r_R = 0.021 \text{ pu}$
- $r_M = r_s + r_R = 0.055 \text{ pu}$

και  $\cos\phi = 0.80$

Για μικρούς κινητήρες :

- $Z''_M(\text{p.u}) = 0.2 \text{ pu}$
- $X''_M(\text{p.u}) = 0.188 \text{ pu}$
- $r_s = 0.043 \text{ pu}$
- $r_R = 0.027 \text{ pu}$
- $r_M = r_s + r_R = 0.070 \text{ pu}$



Σχήμα 3.2. Γραφική απεικόνιση του ασύγχρονου κινητήρα στο ‘PSCAD’

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι για να μπορέσει να εκκινήσει ο κινητήρας στο ‘PSCAD’ πρέπει αυτό να γίνει ομαλά. Ένας τρόπος είναι να εφαρμοστούν τα τέσσερα βήματα που ακολουθούν :

1. Ο κινητήρας εκκινεί στα 0.3 sec
2. Μέχρι τα 0.8 sec ο έλεγχος του γίνεται κρατώντας σταθερές τις στροφές του και ίσες με 0.98 p.u.
3. Στο διάστημα 0.8-0.9 sec σταθεροποιείται η ροπή.
4. Μετά τα 0.9 sec ο έλεγχος του κινητήρα είναι τέτοιος ώστε να μπορεί να ικανοποιηθεί φορτίο (ροπή), το οποίο είναι και το ζητούμενο.

#### Μοντελοποίηση των καλωδίων :

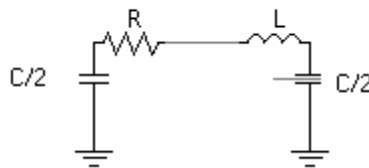
Στη ‘βιβλιοθήκη’ του ‘PSCAD’ είναι διαθέσιμα έτοιμα μοντέλα καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ειδικά όμως κατασκευασμένα για εγκαταστάσεις στεριάς και για γραμμές μεταφοράς πολλών χιλιομέτρων. Στην περίπτωση του ηλεκτρικού δικτύου σε ένα πλοίο λόγω του σχετικά μικρού του μήκους η μοντελοποίηση με μία ωμική αντίσταση σε σειρά με μία επαγωγική αντίδραση και δύο γειωμένους εγκάρσιους πυκνωτές, κρίνεται επαρκής.

Στοιχεία από κατασκευαστές καλωδίων βρέθηκαν μόνο για τάσεις 6 kV, 3 kV & 380V , οπότε με γραμμική παρεμβολή υπολογίστηκαν και τα χαρακτηριστικά

των καλωδίων για τάση 440 Volts. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά των καλωδίων

| V rated (KV) | L (mH/km) | C (μF/km) | R (Ω/km) |
|--------------|-----------|-----------|----------|
| 3.000        | 0.300     | 0.600     | 0.150    |
| 6.000        | 0.400     | 0.400     | 0.150    |
| 0.380        | 0.213     | 0.775     | 0.150    |
| 0.440        | 0.215     | 0.771     | 0.150    |



Σχήμα 3.3. Γραφική απεικόνιση του μοντέλου των καλωδίων στο ‘PSCAD’

Αξίζει να σημειωθεί ότι στη μοντελοποίηση του ενίοτε δικτύου στο PSCAD οι τιμές των αντιστάσεων R,L,C διαιρέθηκαν κατά 10 επειδή θεωρήθηκε ότι ο κύριος ζυγός των γεννητριών απέχει από τα εκάστοτε φορτία γύρω στα 100m και όχι 1km.

Το τριφασικό ρεύμα γραμμής για κάθε γεννήτρια υπολογίστηκε από τον εξής τύπο:

$$S = \sqrt{3} V_{\text{πολ}} * I_{\text{γραμμής}} \text{ όπου } S = 1000 \text{ KVA} , V = 440 \text{ V}$$

$$I_{\text{γραμμής}} = 1,312 \text{ KA}$$



### 3.4 Ιδιαιτερότητες του ΣΗΕ του πλοίου LNG

Παρατηρώντας τα φορτία-καταναλωτές που βρίσκονται σε λειτουργία για κάθε μία κατάσταση του υπό μελέτη πλοίου δεν διακρίθηκε κάποια ιδιαιτερότητα, είτε στον αριθμό των φορτίων είτε στην συνεχόμενη ισχύ λειτουργίας τους. Το μόνο φορτίο που ξεχωρίζει των άλλων είναι στην κατάσταση εν πλω, η Inert Gas Generator με φορτίο 406,30 KW η οποία και θεωρήθηκε ως μεγάλος ανεξάρτητος κινητήρας. Κατά τα άλλα το μοντελοποιημένο δίκτυο είναι ένα τυπικό δίκτυο που αποτελείται από δύο γεννήτριες, τον κύριο ζυγό των γεννητριών με τη μοντελοποίηση των καλωδίων και την σύνδεση των αντίστοιχων κινητήρων με τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία, υπολογισμένα σύμφωνα με όλες τις παραπάνω σχέσεις.

**Κεφάλαιο 4. Εφαρμογή βραχυκυκλωμάτων , Μελέτη πτώσης τάσεως σε διάφορα σημεία του δικτύου, Αποτελέσματα – Ταξινόμηση σφαλμάτων.**

**4.1 Ανάλυση φορτίου του υπό μελέτη πλοίου.**

Πρώτο στάδιο ήταν ο υπολογισμός των φορτίων. Σε κάθε περίπτωση (3 καταστάσεις λειτουργίας) εφαρμόστηκε ο κανονισμός IEC-61363 ώστε να επιτευχθεί η ισοδυναμία των πολλών διαφορετικών κινητήρων σε λιγότερους και τυποποιημένους (≈100KW) σύμφωνα με τα δεδομένα του λογισμικού πακέτου PSCAD. Ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας.

| <b>ΙΣΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ</b> |                     |                            |                      |                           |                     |
|--------------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| <b>GAS SYSTEM A</b>            | <b>KW<br/>(KVA)</b> | <b>CARGO<br/>UNLOADING</b> | <b>KW<br/>(KVA)</b>  | <b>SEA GOING</b>          | <b>KW<br/>(KVA)</b> |
|                                |                     |                            |                      |                           |                     |
| Cargo System                   | 124,52              | Cargo System               | 99,50                | Cargo System              | 98,30               |
| Eng.Room Consumers             | 144,10              | #1 Deep Well Pump          | 119,40               | I.G Generator             | 406,30              |
|                                |                     | #2 Deep Well Pump          | 119,40               | Eng.Room Consumers        | 123,30              |
| <b>TOTAL</b>                   | 268,62<br>(336,00)  | #3 Deep Well Pump          | 119,40               | Accomodation<br>Consumers | 122,10              |
|                                |                     | #4 Deep Well Pump          | 119,40               |                           |                     |
|                                |                     | #5 Deep Well Pump          | 167,00               | <b>TOTAL</b>              | 750,00<br>(938,00)  |
|                                |                     | #6 Deep Well Pump          | 167,00               |                           |                     |
|                                |                     | Eng.Room Consumers         | 144,00               |                           |                     |
|                                |                     |                            |                      |                           |                     |
|                                |                     | <b>TOTAL</b>               | 1055,10<br>(1319,00) |                           |                     |

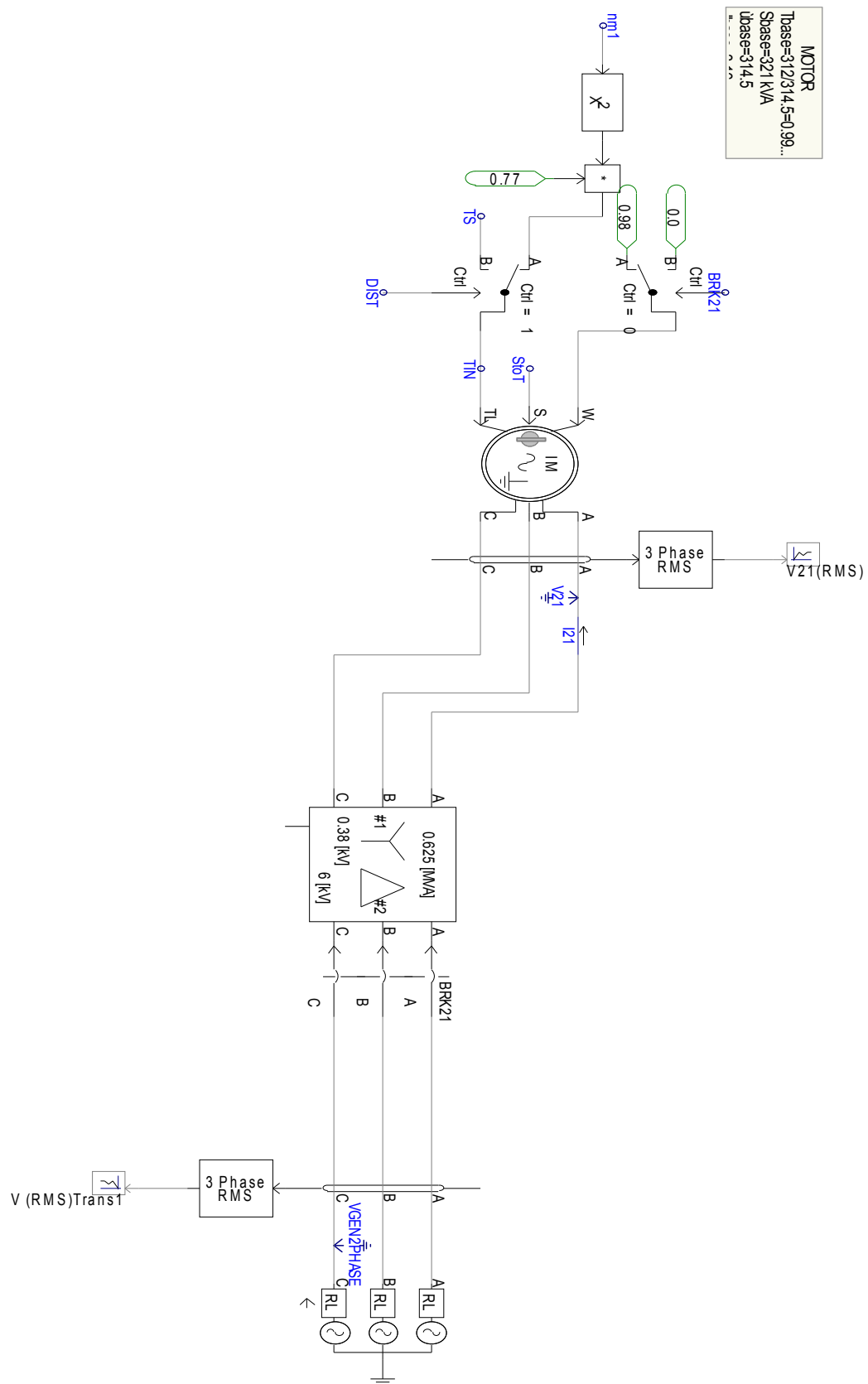
| Generators          | Pieces | Power |     | Sea Going |          | Cargo Unloading |          | Gas System A |          |
|---------------------|--------|-------|-----|-----------|----------|-----------------|----------|--------------|----------|
|                     |        | kVA   | kW  | In use    | Load (%) | In use          | Load (%) | In use       | Load (%) |
| Main Generators     | 2      | 1000  | 800 | 1         | 94       | 2               | 66       | 1            | 34       |
|                     |        |       |     | or 2      | 47       |                 |          |              |          |
|                     |        |       |     |           |          |                 |          |              |          |
| Emergency generator | 1      | 750   | 600 |           |          |                 |          |              |          |

#### 4.2 Μοντελοποίηση των επιμέρους δικτύων στο PSCAD.

Αρχικά έγινε η επιλογή των γεννητριών, έπειτα από την ισοδυναμία των διαφόρων κινητήρων για τον ισολογισμό του ηλεκτρικού φορτίου, έπειτα ακολούθησε ο σχεδιασμός των μονογραμμικών διαγραμμάτων για τις 3 καταστάσεις του δικτύου, όπως φαίνεται και από το προηγούμενο κεφάλαιο.

Επόμενο βήμα ήταν η έναρξη δημιουργίας των τριών επιμέρους δικτύων υπό μορφή μοντελοποίησης στο λογισμικό PSCAD. Το σύστημα είναι γενικά εύκολο στη χρήση του και περιέχει τυποποιημένους κινητήρες και γεννήτριες (πηγές), μετασχηματιστές, καλώδια, συσκευές εισόδου-εξόδου δεδομένων (πχ διακόπτες) και ειδικά διαγράμματα όπου μπορούν να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα (ρεύμα βραχυκυκλώσεως ,πτώση τάσης ,αποδιδόμενη ενεργός ισχύς ) κατά την εκτέλεση ενός ολοκληρωμένου δικτύου (με πηγή ηλεκτρικής ενέργειας ,καλώδια , μετασχηματιστή τάσης ,απορροφούμενο κινητήρα ,κ.α.) με ή χωρίς βραχυκυκλώματα.

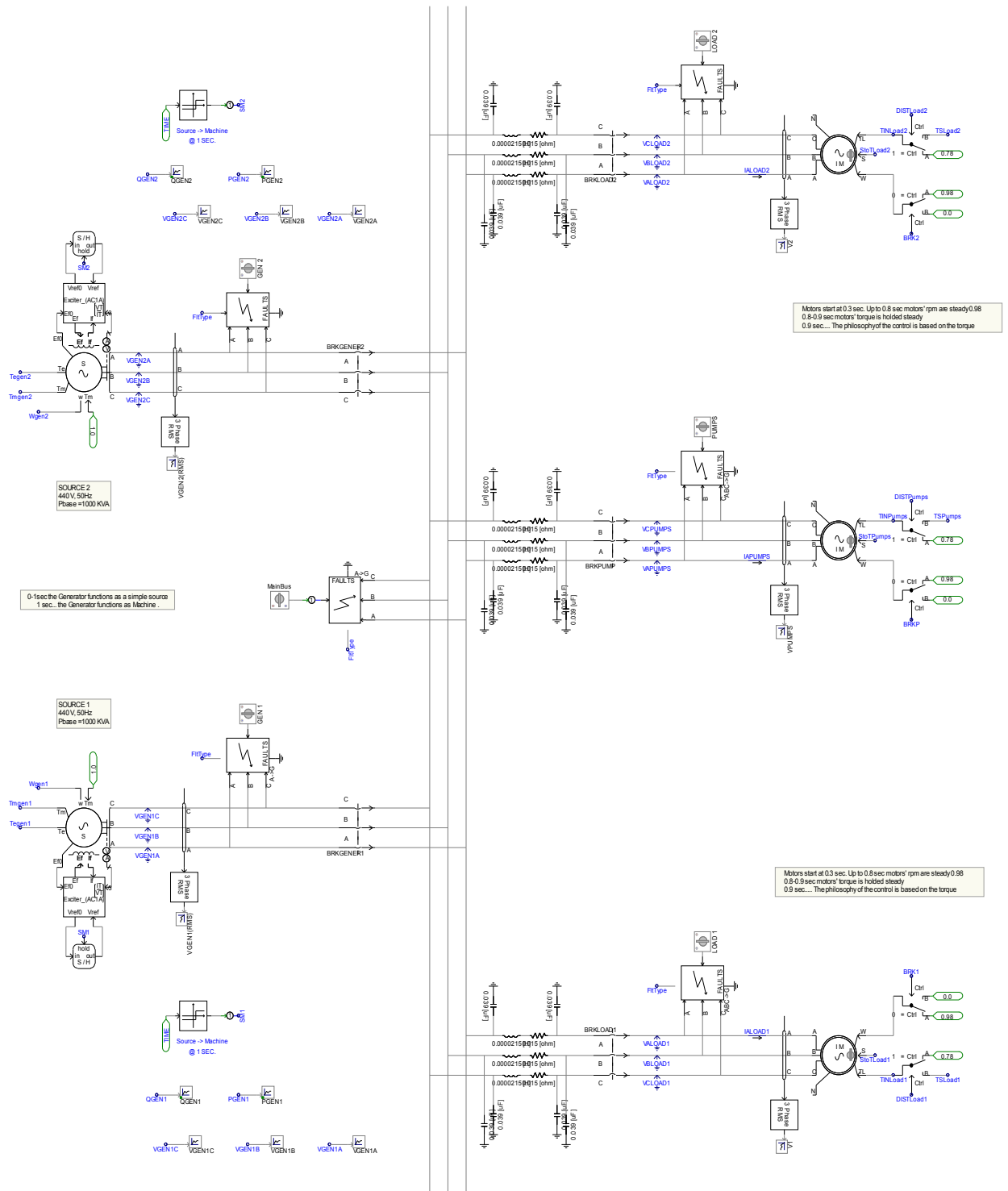
Σχήμα 4.2.1. Τυπικό παράδειγμα απλού δικτύου στο PSCAD



MOTOR  
 Tbase=312/314.5=0.99...  
 Sbase=321 kVA  
 Ibase=314.5

## 4.3 Ανάλυση του μοντελοποιημένου δικτύου του υπό μελέτη πλοίου LNG

Σχήμα 4.3.1 .Μοντελοποιημένο δίκτυο στην κατάσταση Cargo Unloading.



Για απλούστευση θα μιλήσουμε και θα εξηγήσουμε αναλυτικά το δίκτυο και τα επιμέρους στοιχεία που το αποτελούν, για τη μία από τις τρεις καταστάσεις λειτουργίας του υπό μελέτη πλοίου. Αναλογικά το ίδιο ισχύει και στις επόμενες δύο.

Αρχικά τοποθετήθηκαν οι ισοδύναμοι κινητήρες και οι 2 γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος συνδεδεμένες μεταξύ τους με καλώδια. Στην περίπτωση του ηλεκτρικού δικτύου σε ένα πλοίο λόγω του σχετικά μικρού του μήκους η μοντελοποίηση με μία ωμική αντίσταση σε σειρά με μία επαγωγική αντίδραση και δύο γειωμένους εγκάρσιους πυκνωτές, κρίνεται επαρκής. Μετασχηματιστές τάσεως δεν χρειάζονταν λόγω του ότι η τάση παρέμενε σταθερή στα 440 V.

Τελικά το δίκτυο του υπό μελέτη πλοίου ήταν ένα τυπικό δίκτυο, ενώ θεωρητικά θα είχε ιδιαιτερότητες στην ανάλυση και κατανομή των φορτίων, λόγω που είναι πλοίο μεταφοράς φυσικού αερίου και έχει πολύπλοκο σύστημα.

#### Τα είδη σφαλμάτων που μελετήθηκαν

Εφαρμόστηκαν τα εξής τέσσερα είδη σφαλμάτων :

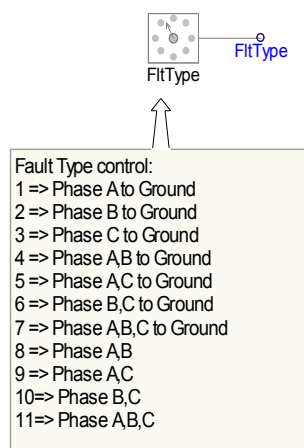
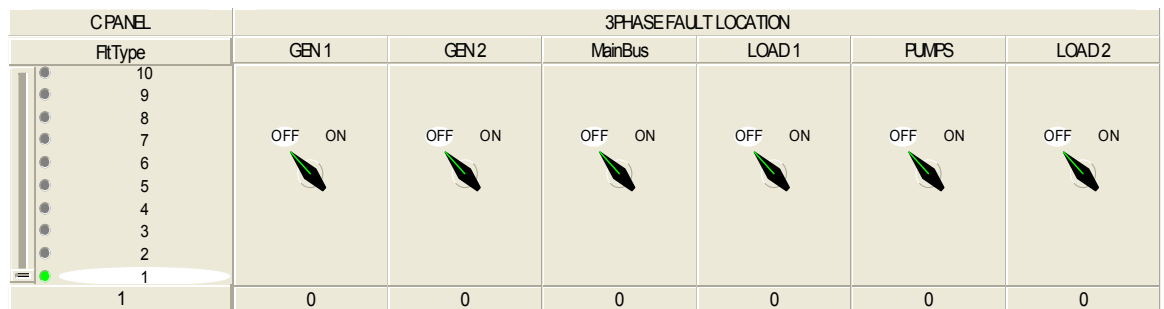
1. Η φάση A προς Γη. (A – G)
2. Οι φάσεις B και C μεταξύ τους. (BC)
3. Οι φάσεις B και C προς Γη. (BC – G)
4. Τριφασικό σφάλμα προς Γη. (ABC – G)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3, λόγω της συμμετρίας του δικτύου δεν χρειάστηκε να εφαρμοστούν τα σφάλματα σε όλους τους ζυγούς και καταναλωτές. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της έλλειψης μοντέλου καλωδίου ανάμεσα στις Γεννήτριες και τον Κύριο Ζυγό, σφάλμα στον Κύριο Ζυγό ισοδυναμεί με σφάλμα στην έξοδο της οποιαδήποτε Γεννήτριας.

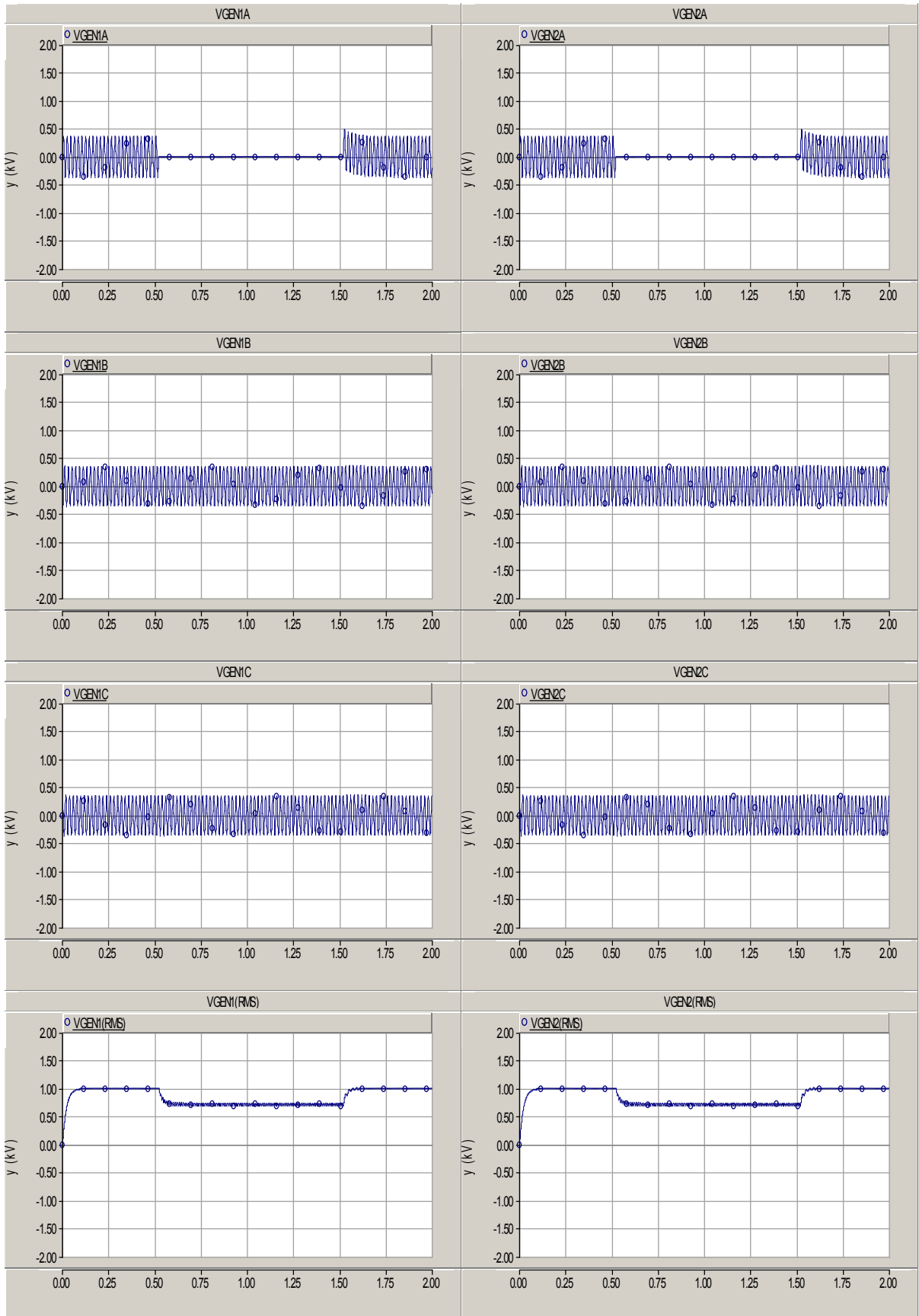
Στη ‘βιβλιοθήκη’ του ‘PSCAD’ είναι διαθέσιμα έτοιμα μοντέλα βραχυκυκλωμάτων (τριφασικών κυρίως), οπότε το μόνο που έγινε ήταν η τοποθέτηση

τους σε καίριες θέσεις του δικτύου όπου αναμενόταν να επηρεάσουν τις τιμές τάσης και ρεύματος με την άμεση εφαρμογή τους. Αυτές οι θέσεις ήταν στην έξοδο των γεννητριών (κύριος ζυγός) και στην είσοδο κάθε ισοδύναμου κινητήρα. Για να μπορεί όμως ο χρήστης να χειρίζεται εξωτερικά-χειροκίνητα τα σφάλματα και την εφαρμογή τους σε δεδομένες χρονικές στιγμές, ενώθηκαν τυποποιημένοι διακόπτες στην έξοδό τους με δύο τιμές (on – off). Η εκτέλεση του προγράμματος EMTDC – PSCAD ακολούθησε με σχετική ευκολία. Σε κάθε μοντέλο σφάλματος υπήρχε η δυνατότητα επιλογής του τύπου του συγκεκριμένου σφάλματος που έπρεπε να εφαρμοστεί. Τέλος υπήρχαν έτοιμα κανάλια εξόδου, μέτρησης των διάφορων χαρακτηριστικών του δικτύου(τάση, ρεύμα, ισχύς) και εμφάνισής τους υπό μορφή κυματομορφών σε κατάλληλα διαγράμματα τα οποία και σχηματίζονταν κατά την εκτέλεση του προγράμματος.

Σχήμα 4.3.2 .Χειροκίνητος πίνακας εφαρμογής του εκάστοτε σφάλματος .



Σχήμα 4.3.3 .Πτώση τάσης γεννητριών μετά από εφαρμογή σφάλματος A-G στον κύριο ζυγό.





## 4.4 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων – Ταξινόμηση των σφαλμάτων

### 4.4.1 Ταξινόμηση των σφαλμάτων

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ταξινόμηση των διαφόρων σφαλμάτων με κριτήριο την πτώση τάσης που προκαλούν στα διάφορα σημεία του ΣΗΕ. Μετά τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε πως πράγματι υπάρχει διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων, ανάλογα με το είδος σφάλματος και το που πραγματοποιείται αυτό. Δημιουργήθηκαν λοιπόν τρεις μέθοδοι ταξινόμησης.

#### Μέθοδος 1

Η ‘Μέθοδος 1’ αποτελεί προέκταση της ήδη υπάρχουσας ‘Μεθόδου ABC’. Μάλιστα για τις πρώτες κατηγορίες σφαλμάτων ακολουθείται ο ίδιος ακριβώς συμβολισμός με αυτόν της ‘Μεθόδου ABC’. Συνολικά δημιουργήθηκαν είκοσι δύο νέες κατηγορίες έχοντας σαν κριτήριο την τιμή της πτώσης τάσης που προκαλείται στα διάφορα σημεία του ΣΗΕ. Ο μεγάλος αριθμός των κατηγοριών καθιστούν τη μέθοδο δύσχρηστη, ιδίως από έναν απλό χειριστή του ΣΗΕ.

Αντιθέτως η προαναφερθείσα μέθοδος μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη ενός λογισμικού, το οποίο χρησιμοποιώντας κατάλληλα τις μετρήσεις από τα διάφορα σημεία του ΣΗΕ, να εντοπίζει το σημείο του σφάλματος, αλλά και το είδος του. Βέβαια για να πραγματοποιηθεί αυτό, χρειάζεται να γίνει ένας μεγαλύτερος αριθμός προσομοιώσεων για διάφορα προφίλ λειτουργίας. Για παράδειγμα προσομοιώσεις με το πλοίο στη θάλασσα χρησιμοποιώντας σε κάθε προσομοίωση διαφορετική ισχύ πρόωσης. Με αυτό το τρόπο θα δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων με αποτελέσματα, οπότε με ένα κατάλληλο λογισμικό και μετά από σύγκριση με τα δεδομένα που δίνουν τα μετρητικά θα είναι δυνατή μία εκτίμηση για τον τύπο και την θέση του σφάλματος.

#### Μέθοδοι 2 & 3

Η ‘Μέθοδος 2’ είναι η μέθοδος ταξινόμησης με τις λιγότερες κατηγορίες. Το εύρος των περιπτώσεων που καλύπτει η κάθε κατηγορία είναι μεγάλο. Η ‘Μέθοδος 3’ αποτελεί μικρή προέκταση της ‘Μεθόδου 2’ έχοντας επιπλέον τις κατηγορίες ‘I2 & I3’. Στόχος και των δύο μεθόδων είναι ο αναγνώστης των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, με μία γρήγορη ματιά μετά από σφάλμα, να μπορεί να διαμορφώνει μια εικόνα ποιος από τους κινητήρες θα συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά και βέβαια πόσο επηρεάζεται η τάση του Κύριου Ζυγού.

Στους Πίνακες 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά και οι τρεις μέθοδοι ταξινόμησης.

Πίνακας 4.4.1. Κατηγοριοποίηση σύμφωνα με την ‘Μέθοδο 1’

| Μέθοδος 1  |                    |                    |                    |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Κατηγορίες | Φάση A (% Vn)      | Φάση B (% Vn)      | Φάση C (% Vn)      |
| A          | 0.00               | 0.00               | 0.00               |
| B          | 0.00               | 1.00               | 1.00               |
| C          | 1/2                | 1/2                | 1.00               |
| D          | 0.00               | 0.00               | 1.00               |
| E          | 0.00               | 0.00               | 1.00               |
| F          | 0.00               | $\text{SQRT}(3)/3$ | $\text{SQRT}(3)/3$ |
| G          | 0.33               | 1/3                | 2/3                |
| S1         | 0.00               | $\text{SQRT}(3)$   | $\text{SQRT}(3)$   |
| S2         | $\text{SQRT}(3)/3$ | 1/3                | 1/3                |
| S3         | 1/3                | 0.00               | 1/3                |
| S4         | 1/2                | 0.00               | 1/2                |
| S5         | 1.00               | 1.00               | 1.00               |
| S6         | 1/3                | $\text{SQRT}(3)/3$ | $\text{SQRT}(3)/3$ |
| S7         | 1/4                | 1/4                | 1/2                |
| S8         | 1/3                | 1/3                | 1/2                |
| S9         | 2/3                | 1/2                | 1/2                |

|     |      |      |           |
|-----|------|------|-----------|
| S10 | 1/3  | 1/3  | 1/3       |
| S11 | 1/2  | 0.00 | 2/3       |
| S12 | 0.00 | 1/3  | 1/3       |
| S13 | 0.00 | 0.00 | 2/3       |
| S14 | 1/2  | 1/2  | SQRT(3)/3 |
| S15 | 1/3  | 1/3  | SQRT(3)/3 |
| S16 | 1/3  | 1/2  | 1/2       |
| S17 | 1/4  | 1/4  | 1/4       |
| S18 | 1/4  | 1/4  | 1/3       |
| S19 | 1/4  | 1/4  | SQRT(3)/3 |
| S20 | 0.00 | 0.00 | SQRT(3)/3 |
| S21 | 1/4  | 1/3  | 1/3       |
| S22 | 0.00 | 0.00 | 1/4       |

Πίνακας 4.4.2. Κατηγοριοποίηση σύμφωνα με την ‘Μέθοδο 2’

| Μέθοδος 2  |                   |                   |                   |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Κατηγορίες | Φάση A (% Vn)     | Φάση B (% Vn)     | Φάση C (% Vn)     |
| I          | 0.00              | 0.00              | 0.00              |
| II         | Μικρότερο από 0.8 | Μικρότερο από 0.8 | Μικρότερο από 0.8 |
| III        | Μικρότερο από 0.8 | Μικρότερο από 0.8 | 1.00              |
| II2        | Μικρότερο από 0.8 | 1.00              | 1.00              |
| III        | 0.00              | Μεγαλύτερο από 1  | Μεγαλύτερο από 1  |
| IV         | 1.00              | 1.00              | 1.00              |

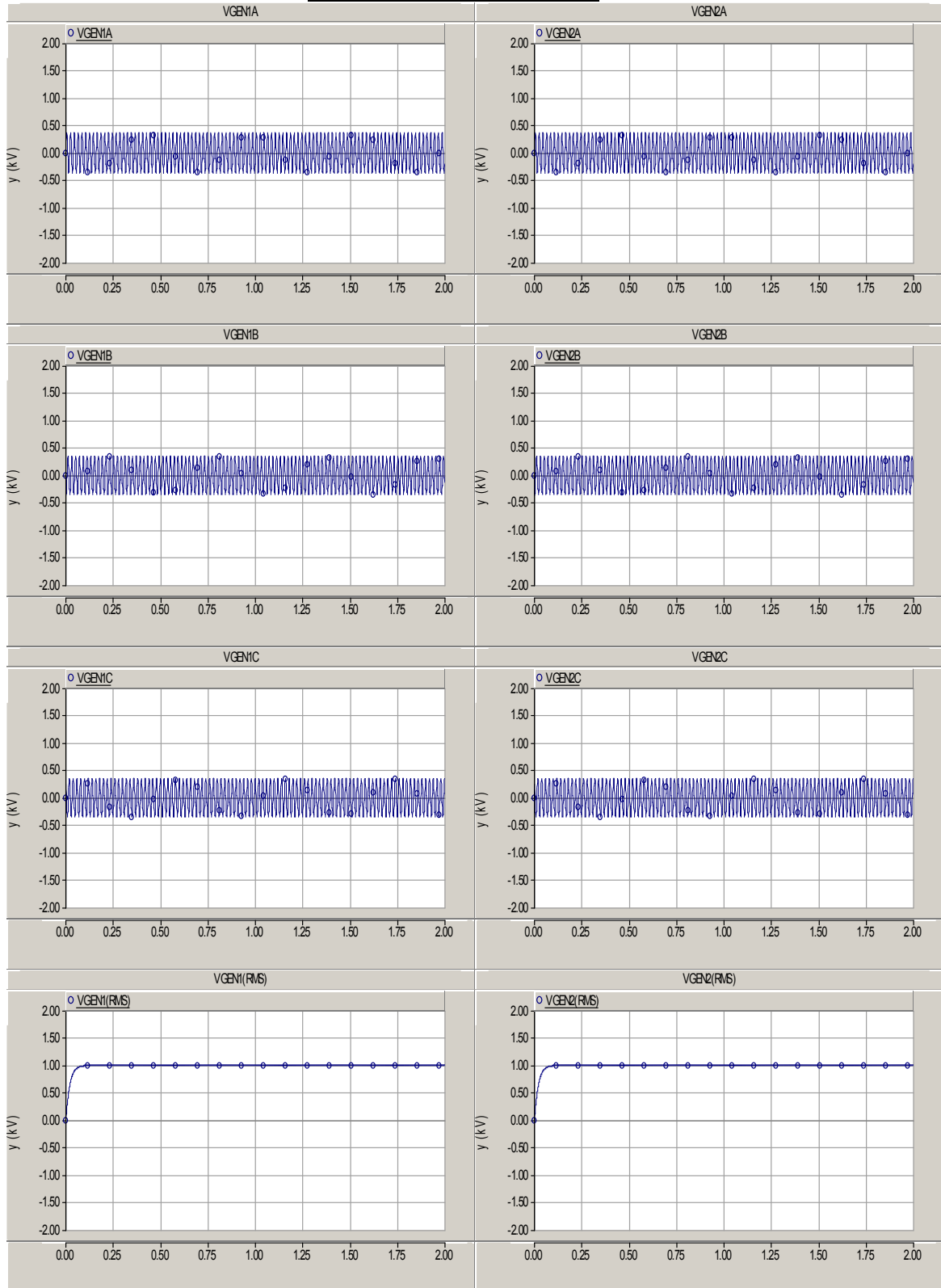
Πίνακας 4.4.3. Κατηγοριοποίηση σύμφωνα με την ‘Μέθοδο 3’

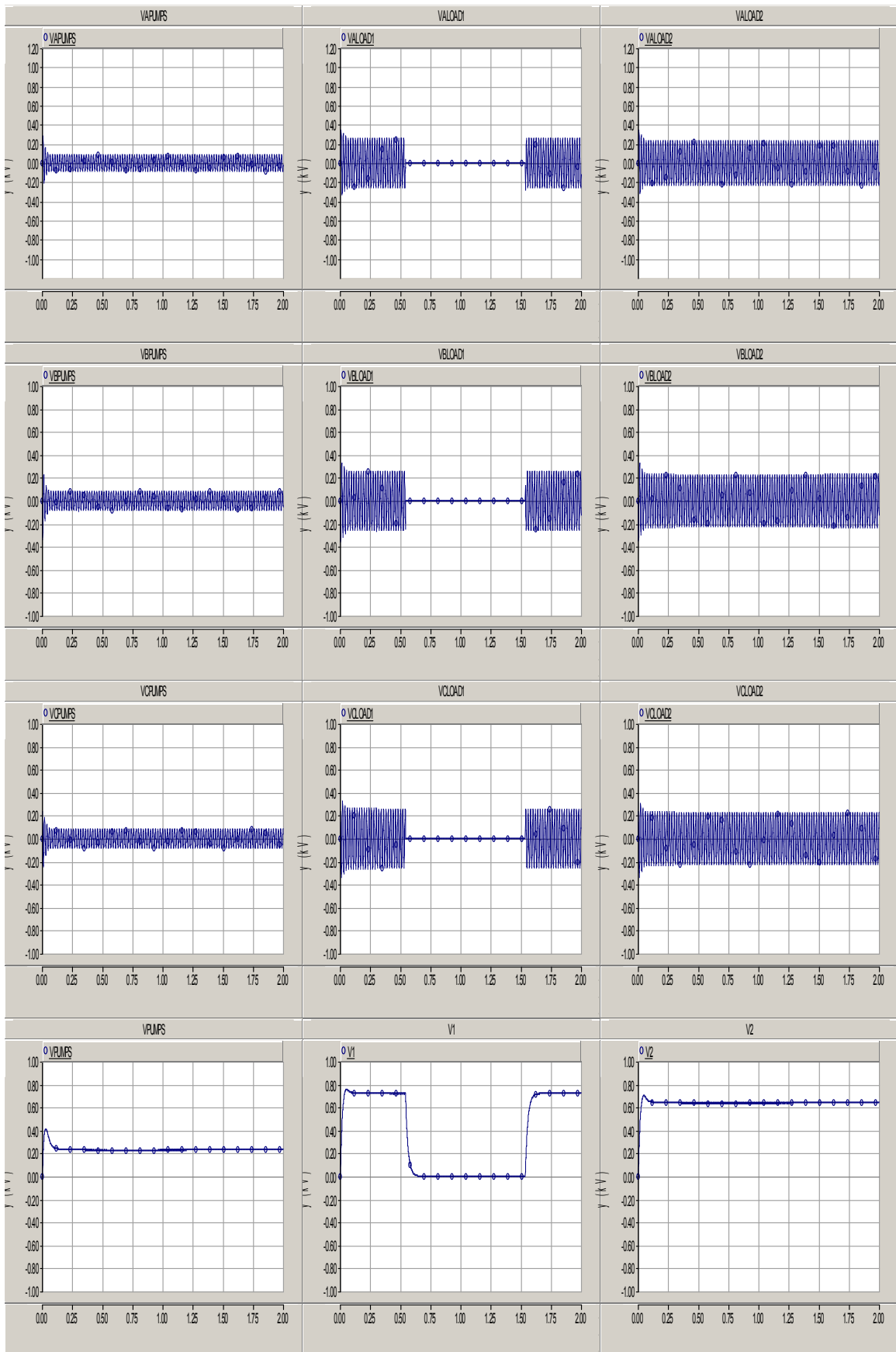
| Μέθοδος 3  |  |  |  |
|------------|--|--|--|
| Κατηγορίες | Φάση Α (% Vn)                          | Φάση Β (% Vn)                          | Φάση C (% Vn)                          |
| I          | 0.00                                   | 0.00                                   | 0.00                                   |
| II1        | 0.00                                   | 0.00                                   | Μικρότερο από 0.8                      |
| II2        | 0.00                                   | Μικρότερο από 0.8                      | Μικρότερο από 0.8                      |
| II3        | Μικρότερο από 0.8                      | Μικρότερο από 0.8                      | Μικρότερο από 0.8                      |
| III1       | Μικρότερο από 0.8                      | Μικρότερο από 0.8                      | 1.00                                   |
| III2       | Μικρότερο από 0.8                      | 1.00                                   | 1.00                                   |
| III        | 0.00                                   | Μεγαλύτερο από 1                       | Μεγαλύτερο από 1                       |
| IV         | Μεγαλύτερο από 0.8 και Μικρότερο από 1 | Μεγαλύτερο από 0.8 και Μικρότερο από 1 | Μεγαλύτερο από 0.8 και Μικρότερο από 1 |

#### 4.4.2. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων και της ταξινόμησης των σφαλμάτων

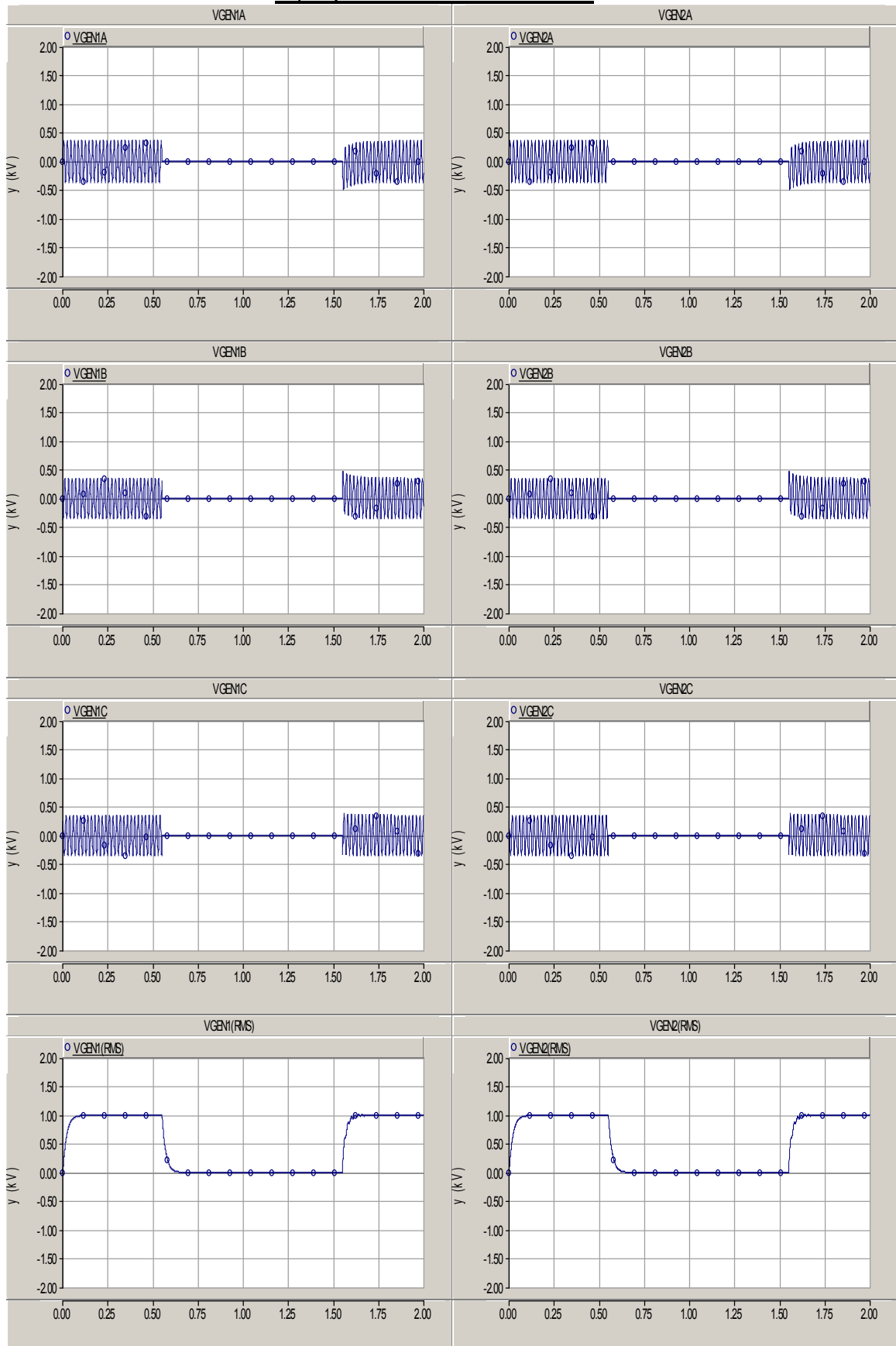
Στην σειρά πινάκων που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις εφαρμόζοντας όλα τα είδη σφαλμάτων στην κατάσταση cargo unloading, παρόμοια ήταν και για τα άλλα 2 προφίλ λειτουργίας του σκάφους. Στην συνέχεια με τη βοήθεια του προγράμματος ‘Excel’ έγινε ταξινόμηση των σφαλμάτων σύμφωνα και με τις τρεις μεθόδους που παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 4.4.1. Η κατηγοριοποίηση όμως που ενδιέφερε περισσότερο ήταν η ‘μέθοδος 3’. Εκτός από την παρουσίαση υπό μορφή πινάκων δημιουργήθηκε και γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

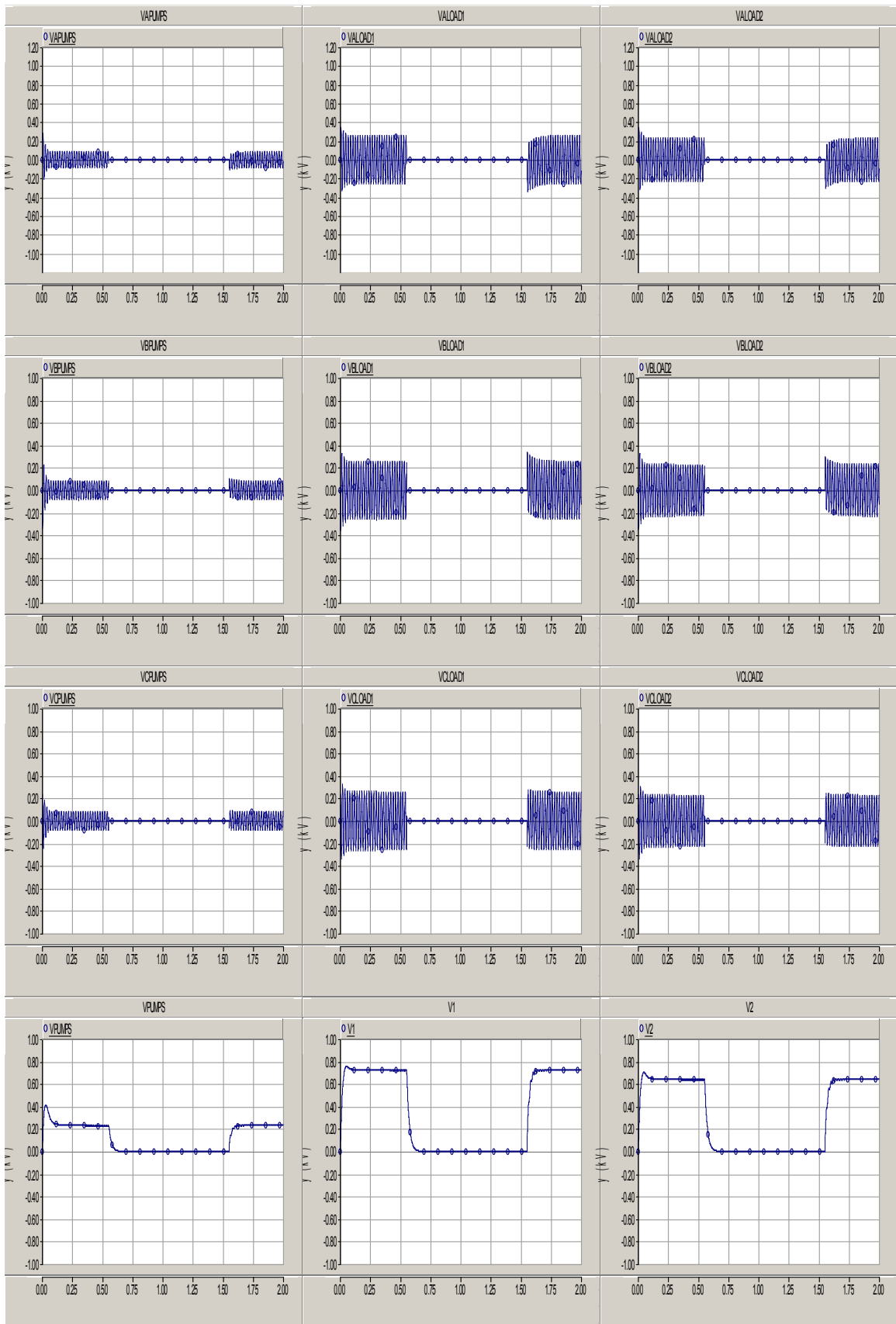
## Σφάλμα ABC-G στο load1





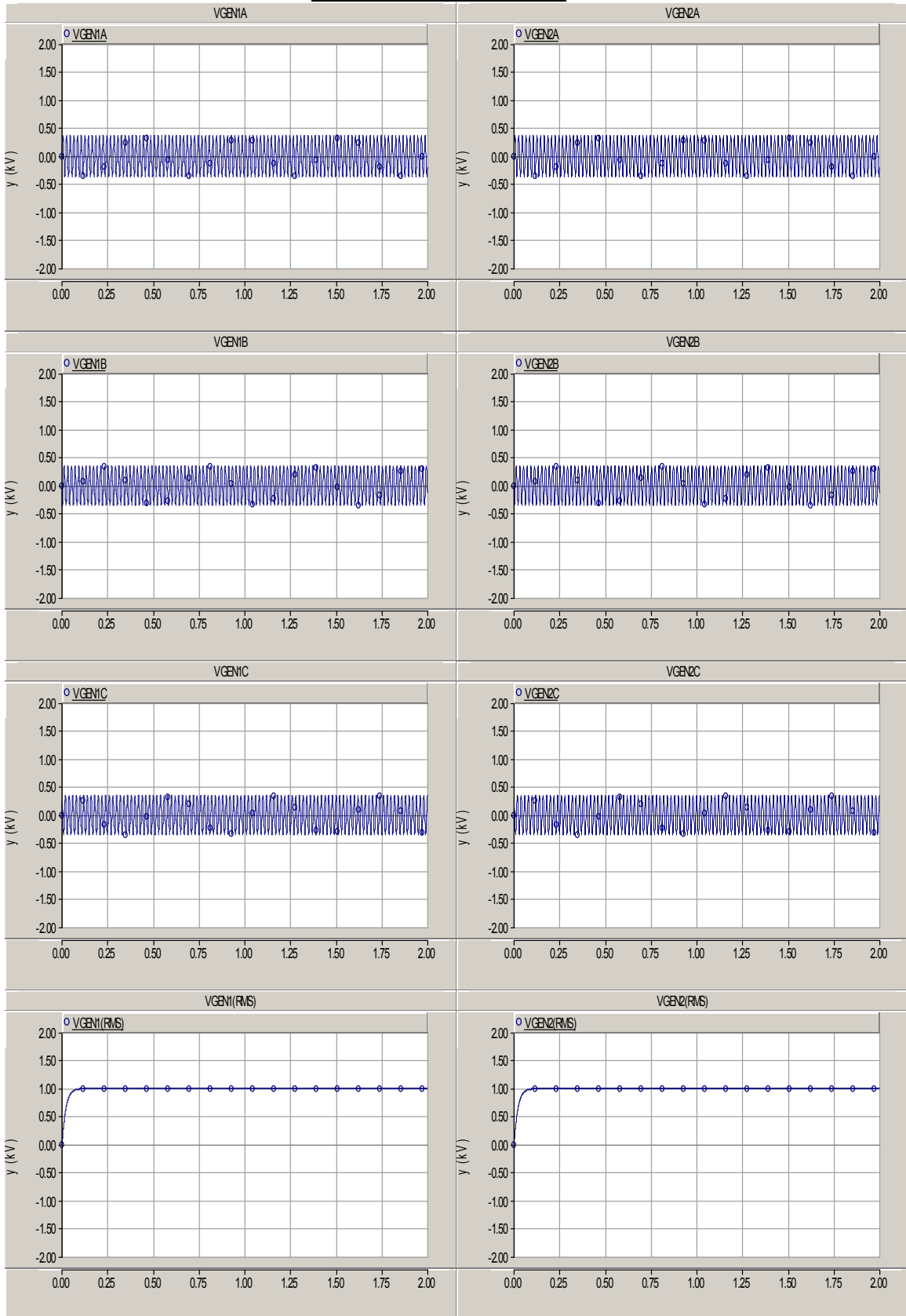
### Σφάλμα ABC-G στο main bus

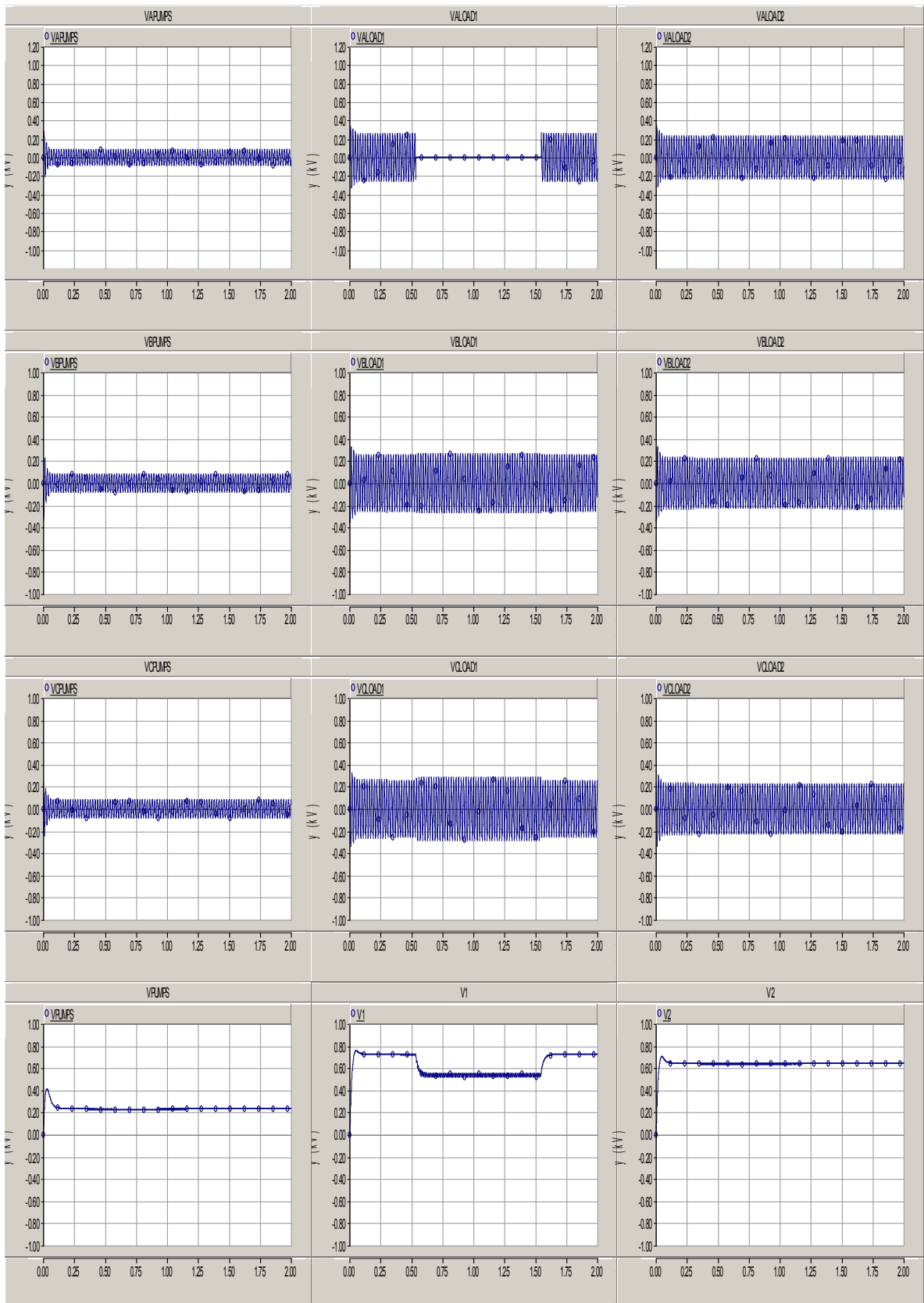




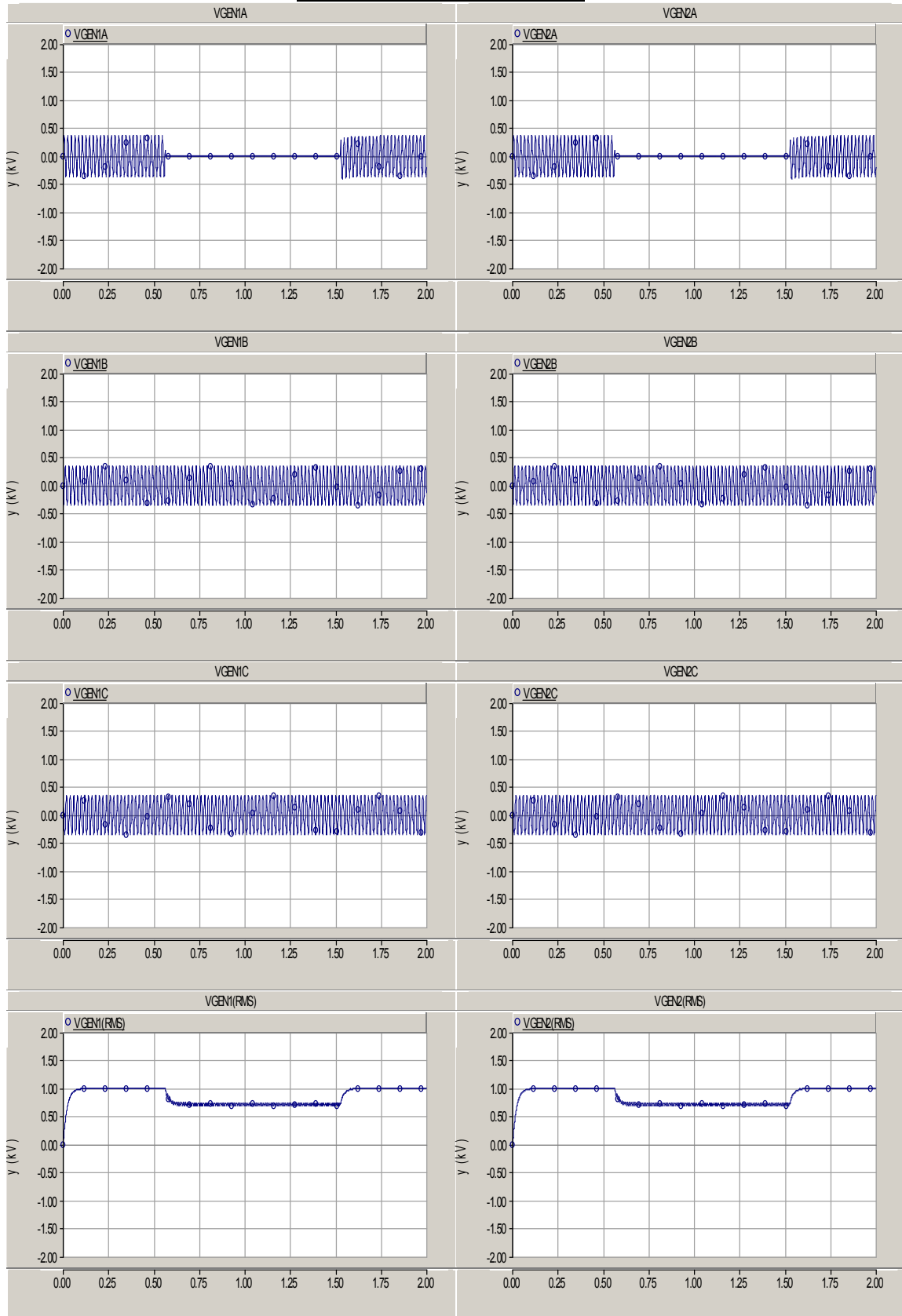


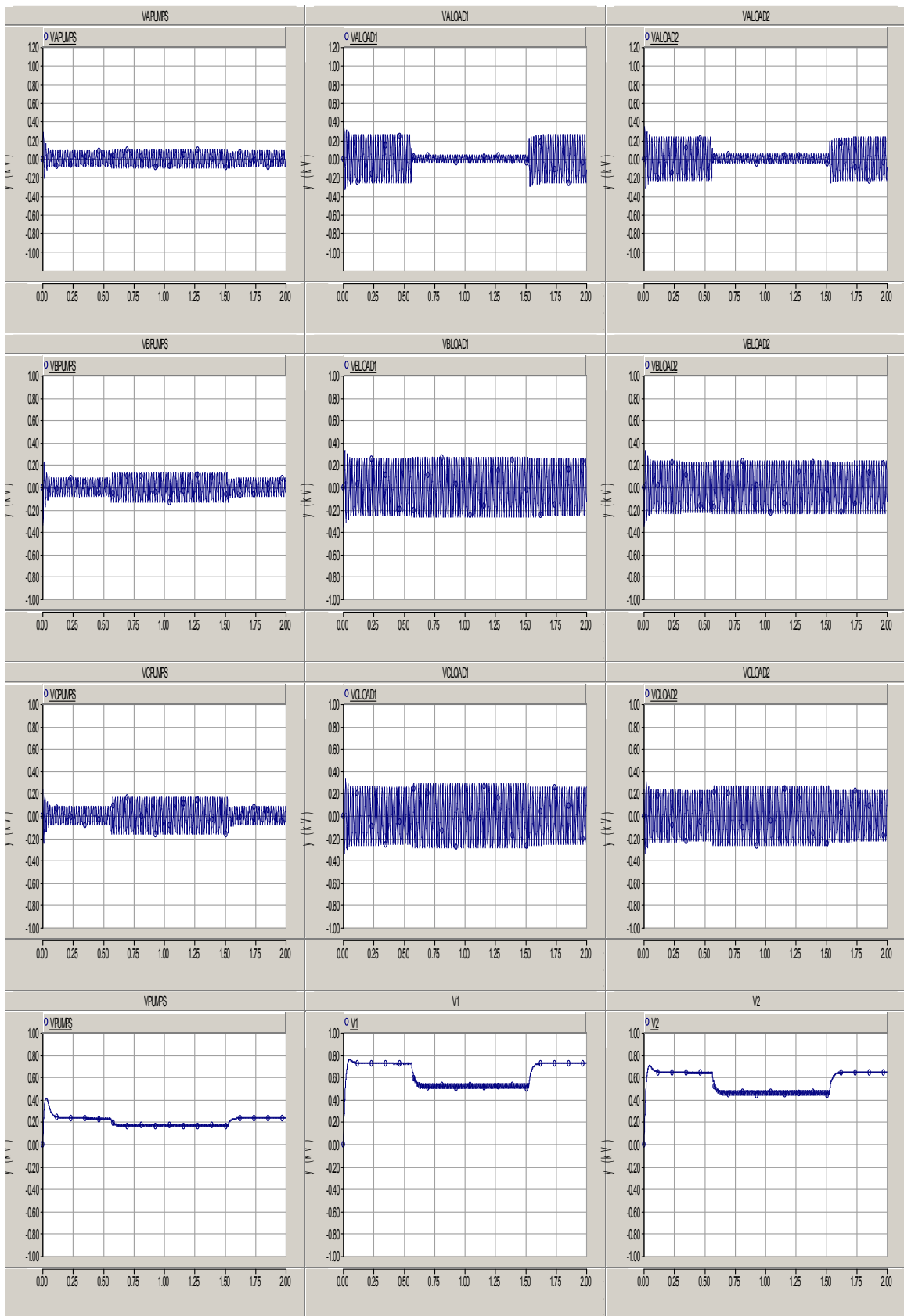
### Σφάλμα Α-Γ στο load 1



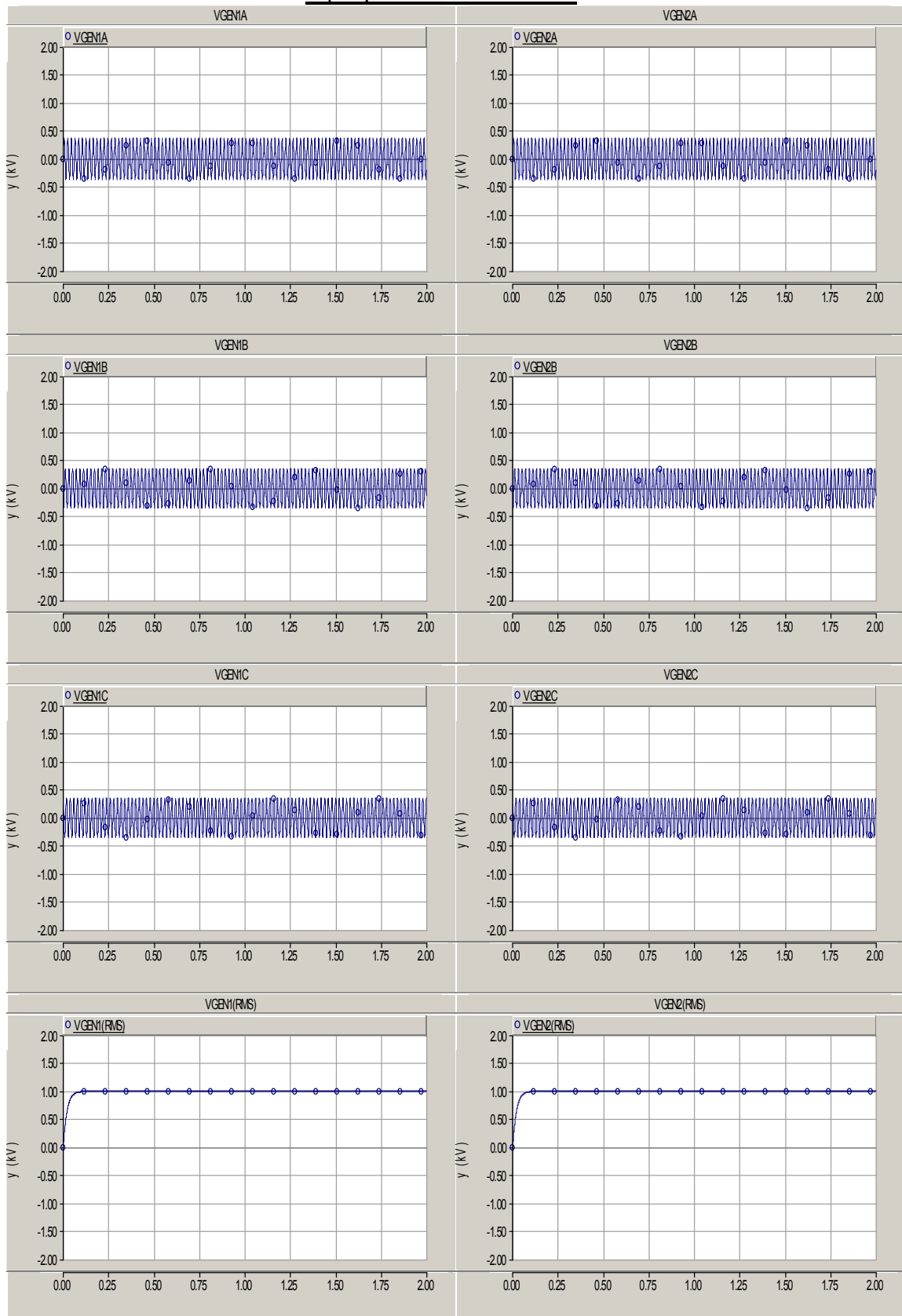


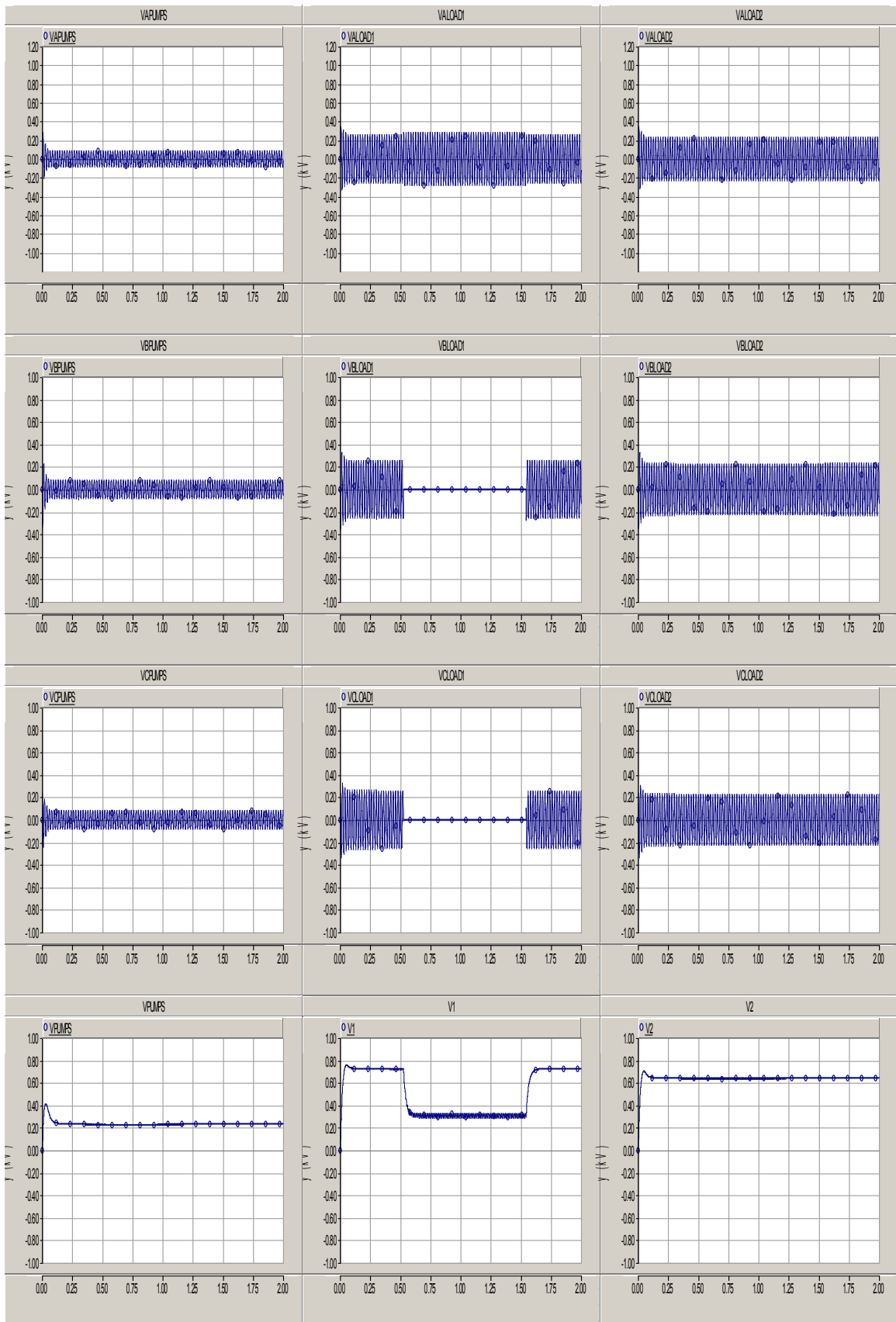
### Σφάλμα Α-G στο main bus



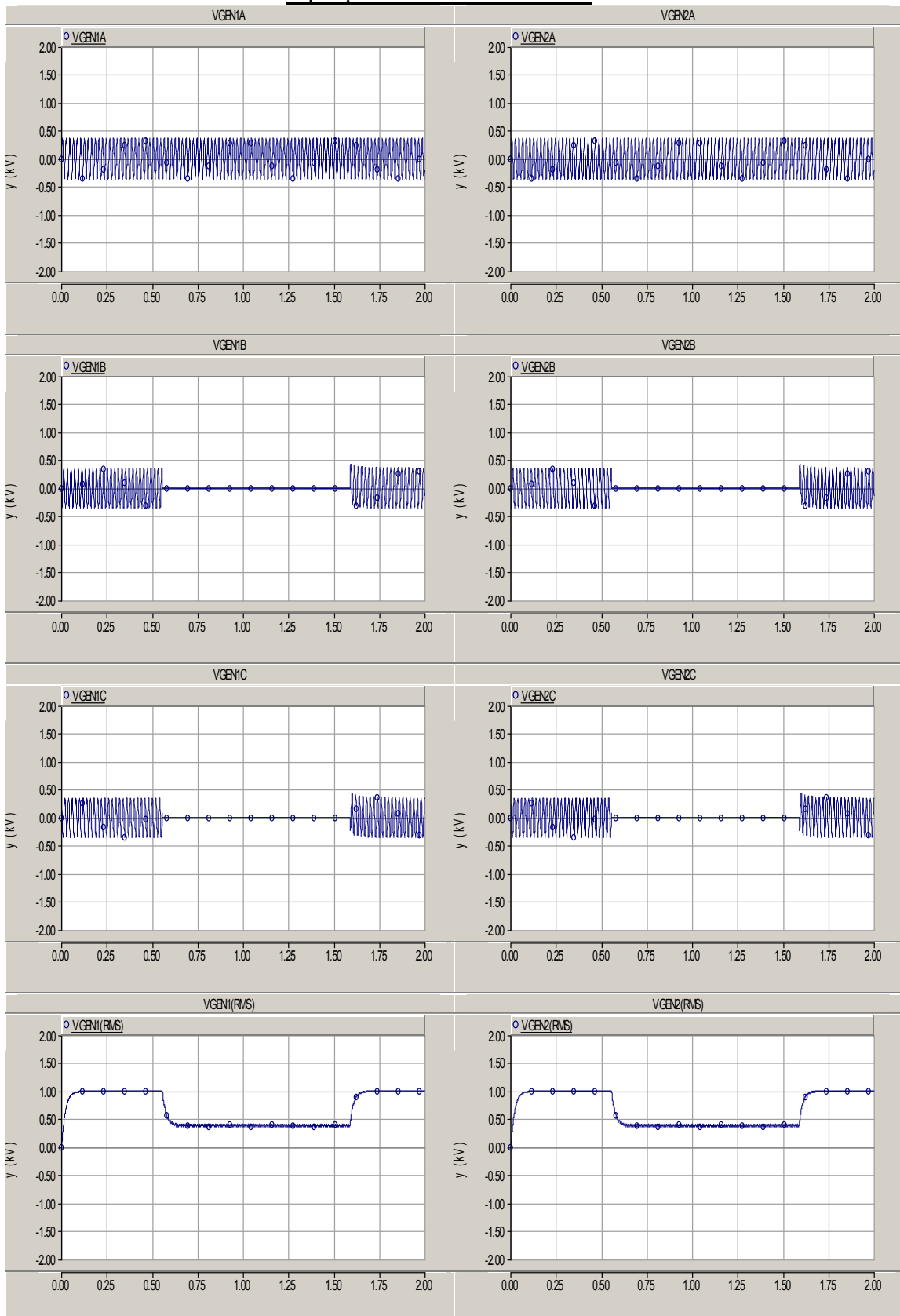


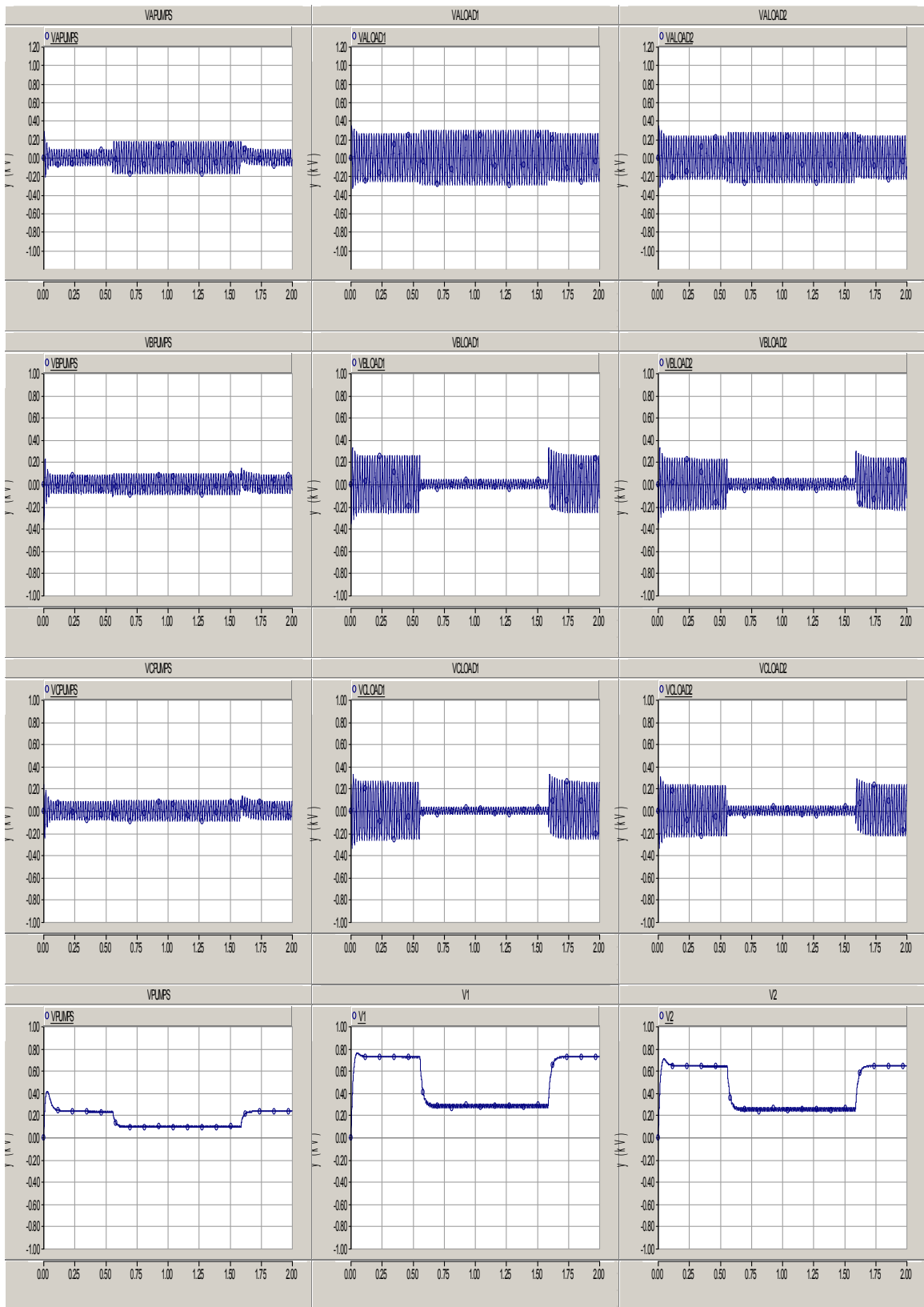
### Σφάλμα BC-G στο load 1





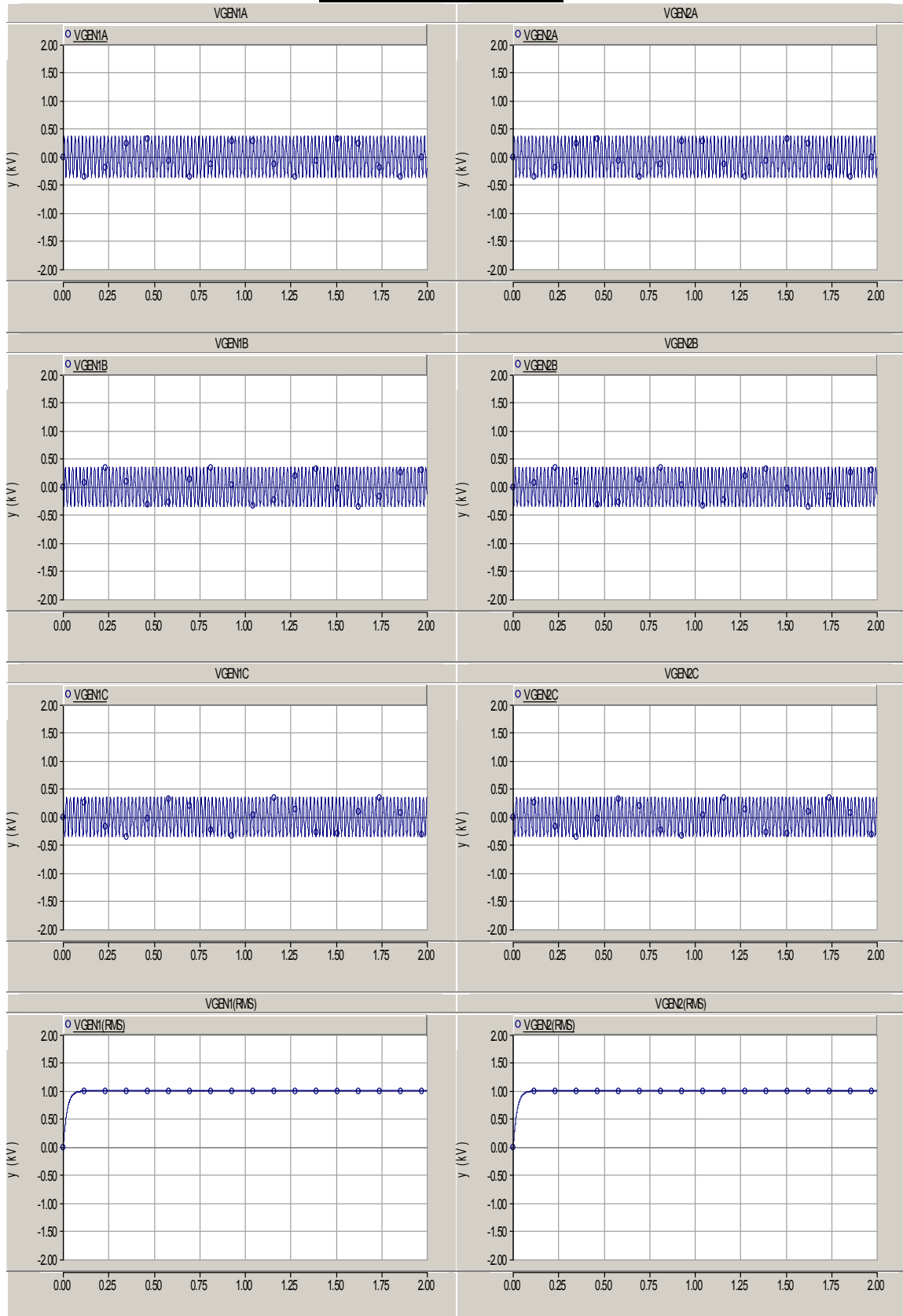
### Σφάλμα BC-G στο main bus

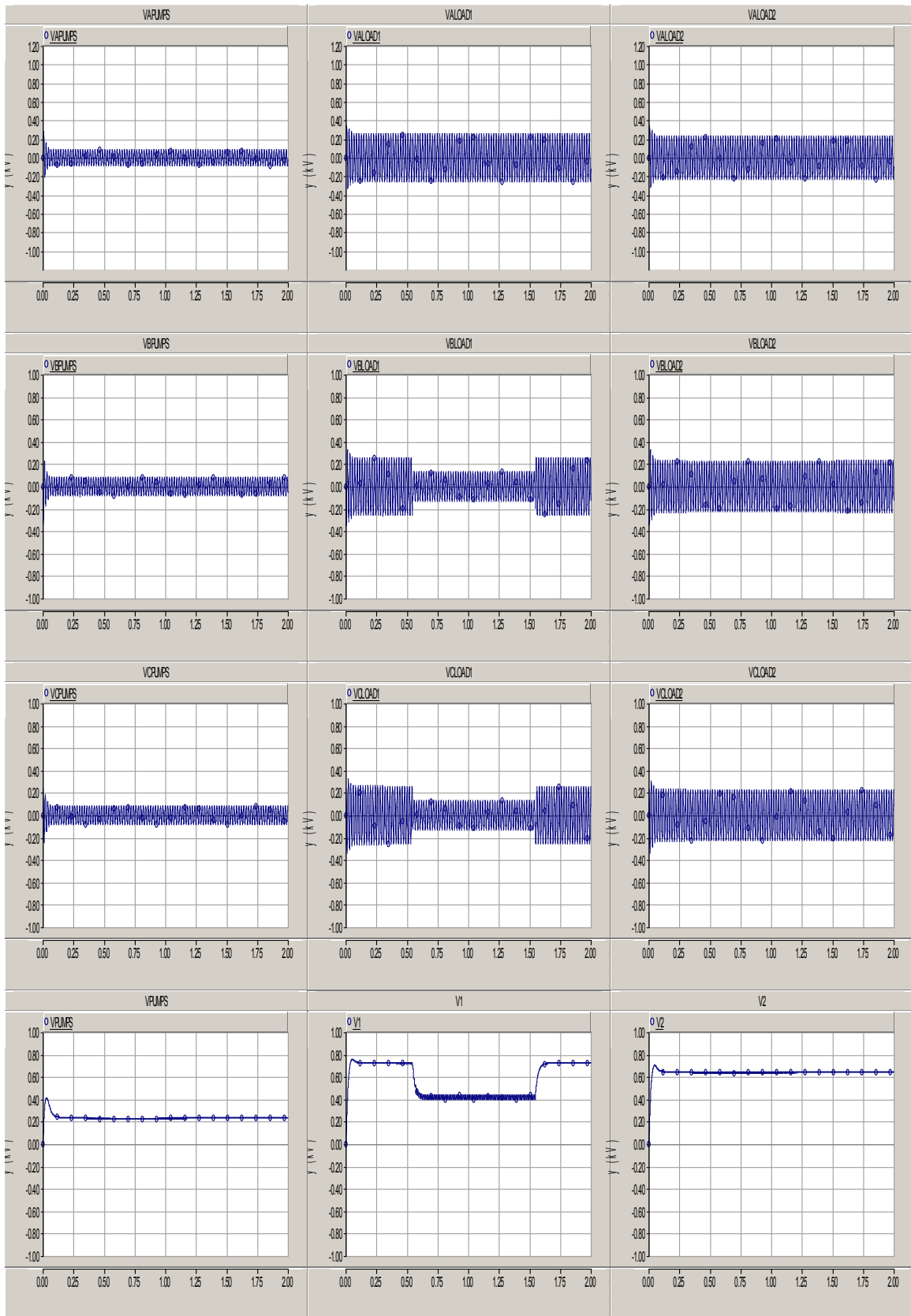




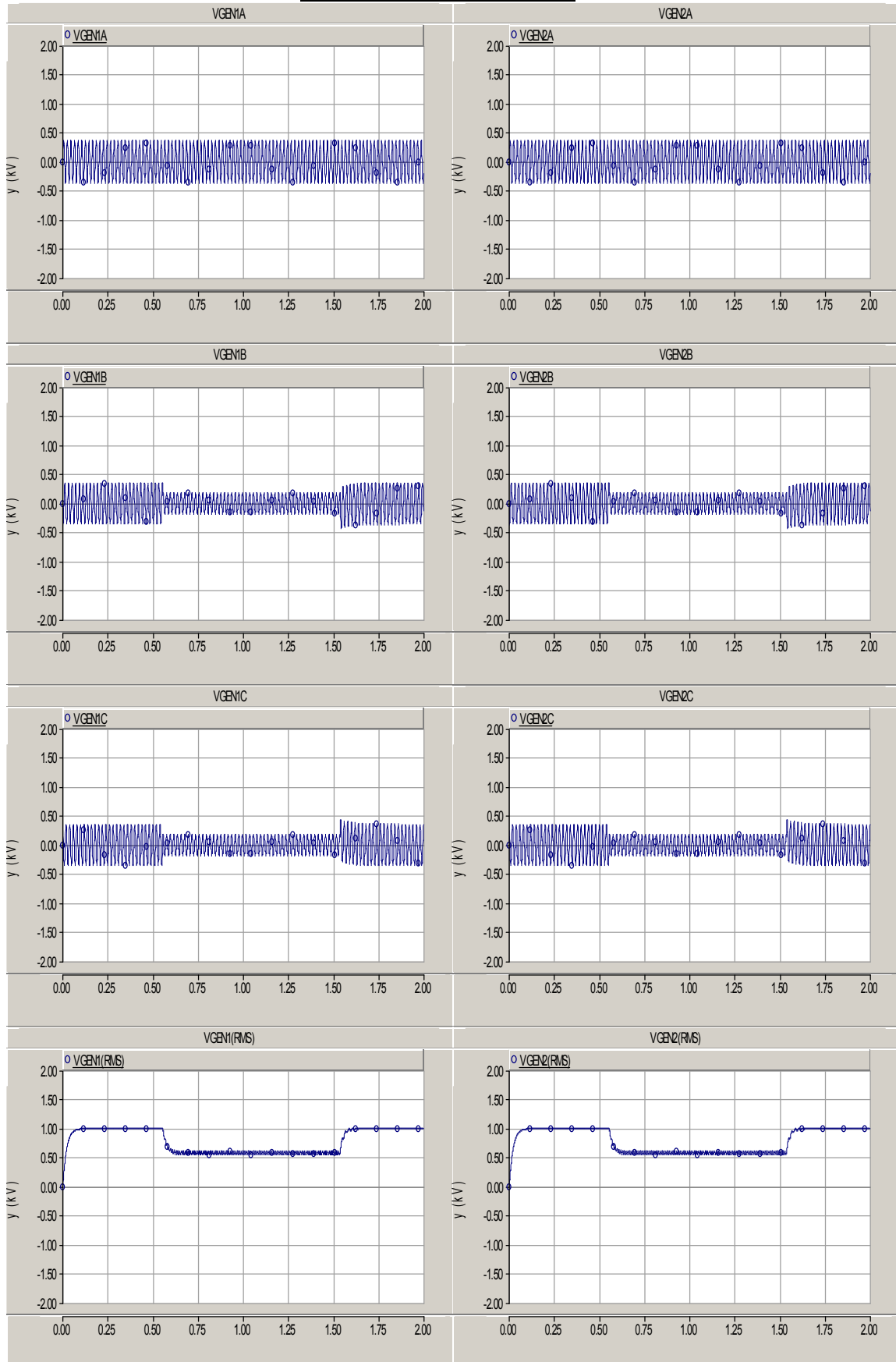


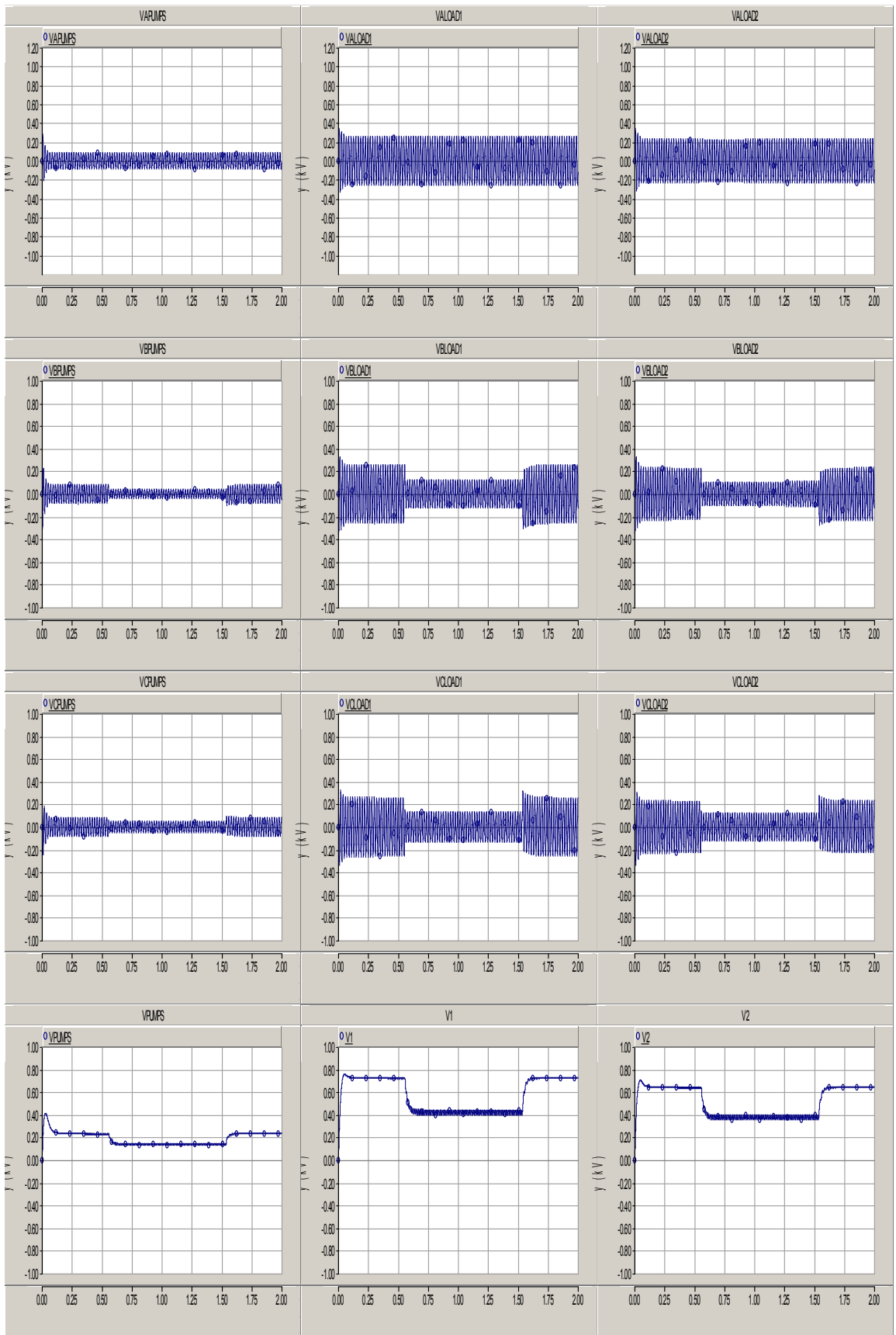
### Σφάλμα BC στο load 1





## Σφάλμα BC στο main bus





**Κατηγοριοποίηση για Σφάλμα στο Φορτίο 1(Load 1)**

| FAULT TYPE | KILOVOLTS | SEA GOING |       |       | CARGO UNLOADING |       |       | GAS SYSTEM A |       |       |    |
|------------|-----------|-----------|-------|-------|-----------------|-------|-------|--------------|-------|-------|----|
|            |           | %         | %     | %     | %               | %     | %     | %            | %     | %     |    |
|            | VGEN1     | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| BC         |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| A-G        |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
|            | VGEN2     | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| BC         |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| A-G        |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
|            | VLOAD1    | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | 0               | 0     | 0     | 0            | 0     | 0     | 10 |
| BC         |           | 0,25      | 0,125 | 0,125 | 0,25            | 0,125 | 0,125 | 0,25         | 0,125 | 0,125 | 13 |
| A-G        |           | 0         | 0,3   | 0,3   | 0               | 0,3   | 0,3   | 0            | 0,3   | 0,3   | 12 |
| BC-G       |           | 0,3       | 0     | 0     | 0,3             | 0     | 0     | 0,3          | 0     | 0     | 11 |
|            | VLOAD2    | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
| BC         |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
| A-G        |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
| BC-G       |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
|            | VLOAD3    | A         | B     | C     |                 |       |       |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC         |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| A-G        |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
|            | VLOAD4    | A         | B     | C     |                 |       |       |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC         |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| A-G        |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
|            | VPUMPS    |           |       |       | A               | B     | C     |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |
| BC         |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |
| A-G        |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |

**Κατηγοριοποίηση για Σφάλμα στον Κύριο Ζυγό(Main Bus)**

| FAULT TYPE | KILOVOLTS | SEA GOING |       |       | CARGO UNLOADING |      |      | GAS SYSTEM A |       |       |    |
|------------|-----------|-----------|-------|-------|-----------------|------|------|--------------|-------|-------|----|
|            |           | %         | %     | %     | %               | %    | %    | %            | %     | %     |    |
|            | VGEN1     | A         | B     | C     | A               | B    | C    | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |      |      |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | 0               | 0    | 0    | 0            | 0     | 0     | 10 |
| BC         |           | 0,4       | 0,2   | 0,2   | 0,4             | 0,2  | 0,2  | 0,4          | 0,2   | 0,2   | 13 |
| A-G        |           | 0         | 0,4   | 0,4   | 0               | 0,4  | 0,4  | 0            | 0,4   | 0,4   | 12 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0     | 0     | 0,4             | 0    | 0    | 0,4          | 0     | 0     | 11 |
|            | VGEN2     | A         | B     | C     | A               | B    | C    | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |      |      |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | 0               | 0    | 0    | 0            | 0     | 0     | 10 |
| BC         |           | 0,4       | 0,2   | 0,2   | 0,4             | 0,2  | 0,2  | 0,4          | 0,2   | 0,2   | 13 |
| A-G        |           | 0         | 0,4   | 0,4   | 0               | 0,4  | 0,4  | 0            | 0,4   | 0,4   | 12 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0     | 0     | 0,4             | 0    | 0    | 0,4          | 0     | 0     | 11 |
|            | VLOAD1    | A         | B     | C     | A               | B    | C    | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |      |      |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | 0               | 0    | 0    | 0            | 0     | 0     | 10 |
| BC         |           | 0,25      | 0,125 | 0,125 | 0,28            | 0,14 | 0,14 | 0,25         | 0,125 | 0,125 | 13 |
| A-G        |           | 0,05      | 0,3   | 0,3   | 0,05            | 0,25 | 0,3  | 0,05         | 0,25  | 0,3   | 13 |
| BC-G       |           | 0,3       | 0,025 | 0,025 | 0,3             | 0,05 | 0,05 | 0,3          | 0,025 | 0,025 | 13 |
|            | VLOAD2    | A         | B     | C     | A               | B    | C    | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |      |      |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | 0               | 0    | 0    | 0            | 0     | 0     | 10 |
| BC         |           | 0,16      | 0,08  | 0,08  | 0,22            | 0,11 | 0,11 | 0,25         | 0,125 | 0,125 | 13 |
| A-G        |           | 0,1       | 0,15  | 0,2   | 0,05            | 0,22 | 0,28 | 0,05         | 0,25  | 0,3   | 13 |
| BC-G       |           | 0,2       | 0,1   | 0,1   | 0,26            | 0,05 | 0,05 | 0,3          | 0,025 | 0,025 | 13 |
|            | VLOAD3    | A         | B     | C     |                 |      |      |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |      |      |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     |                 |      |      |              |       |       | 10 |
| BC         |           | 0,24      | 0,12  | 0,12  |                 |      |      |              |       |       | 13 |
| A-G        |           | 0,05      | 0,25  | 0,25  |                 |      |      |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           | 0,3       | 0,025 | 0,025 |                 |      |      |              |       |       | 13 |
|            | VLOAD4    | A         | B     | C     |                 |      |      |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |      |      |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     |                 |      |      |              |       |       | 10 |
| BC         |           | 0,24      | 0,12  | 0,12  |                 |      |      |              |       |       | 13 |
| A-G        |           | 0,05      | 0,25  | 0,25  |                 |      |      |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           | 0,3       | 0,025 | 0,025 |                 |      |      |              |       |       | 13 |
|            | VPUMPS    |           |       |       | A               | B    | C    |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |      |      |              |       |       |    |
| ABC-G      |           |           |       |       | 0               | 0    | 0    |              |       |       | 10 |
| BC         |           |           |       |       | 0,1             | 0,05 | 0,05 |              |       |       | 13 |
| A-G        |           |           |       |       | 0,1             | 0,15 | 0,18 |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           |           |       |       | 0,2             | 0,1  | 0,1  |              |       |       | 13 |

Οι παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες :

A) Η τριφασική τάση του κάθε στοιχείου κυμαίνεται σε τιμές μεγαλύτερες ή μικρότερες ( $>$  ή  $<$ ) του 80 % της ονομαστικής τάσης ( $V_n$ ) ανάλογα με την εφαρμογή του εκάστοτε σφάλματος.

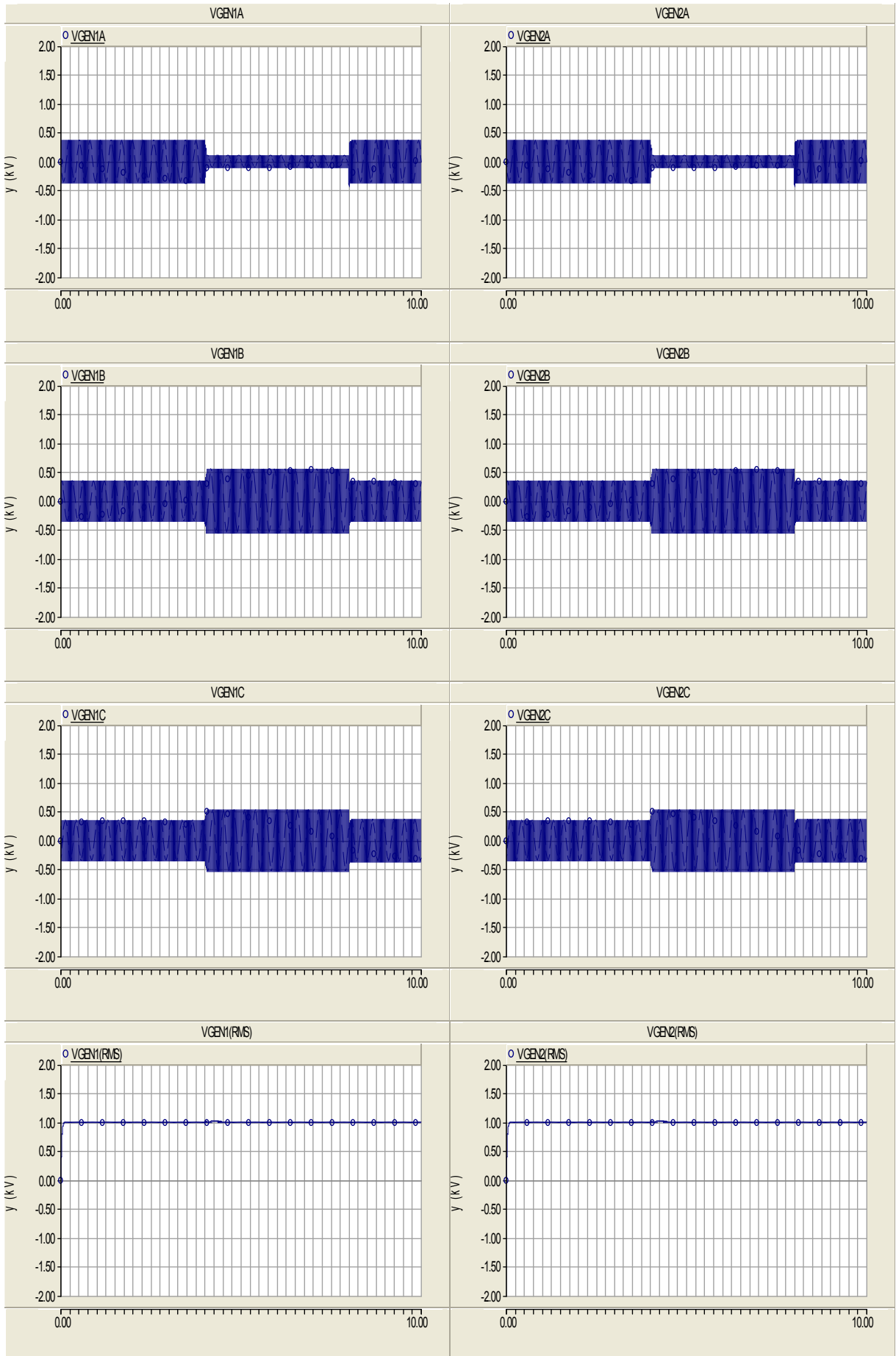
B) Στην περίπτωση του μονοφασικού σφάλματος A-G στο φορτίο 1 (Load 1) η φάση A δεν πέφτει στη γεννήτρια 1 (Gen 1).

Όσον αφορά την κατηγορία A παρατηρείται ότι η τάση για κάθε περίπτωση σφάλματος είναι μικρότερη από το 80 % της ονομαστικής, είναι μάλιστα αρκετά χαμηλή, πράγμα που σημαίνει ότι ακόμα και το πιο απομακρυσμένο σφάλμα ρίχνει την τάση σημαντικά. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου μπορούν να ληφθούν θεραπευτικά μέτρα όπως π.χ. βελτίωση των παραμέτρων του δικτύου (μικρότερες αντιστάσεις R στην τοποθέτηση των καλωδίων) ή ακόμα και βελτίωση των γεννητριών μέσω των παραμέτρων τους (τιμές επαγωγικών αντιδράσεων και χρονικών σταθερών  $X_d'$ ,  $X_d''$ ,  $T_d'$ ,  $T_d''$ ).

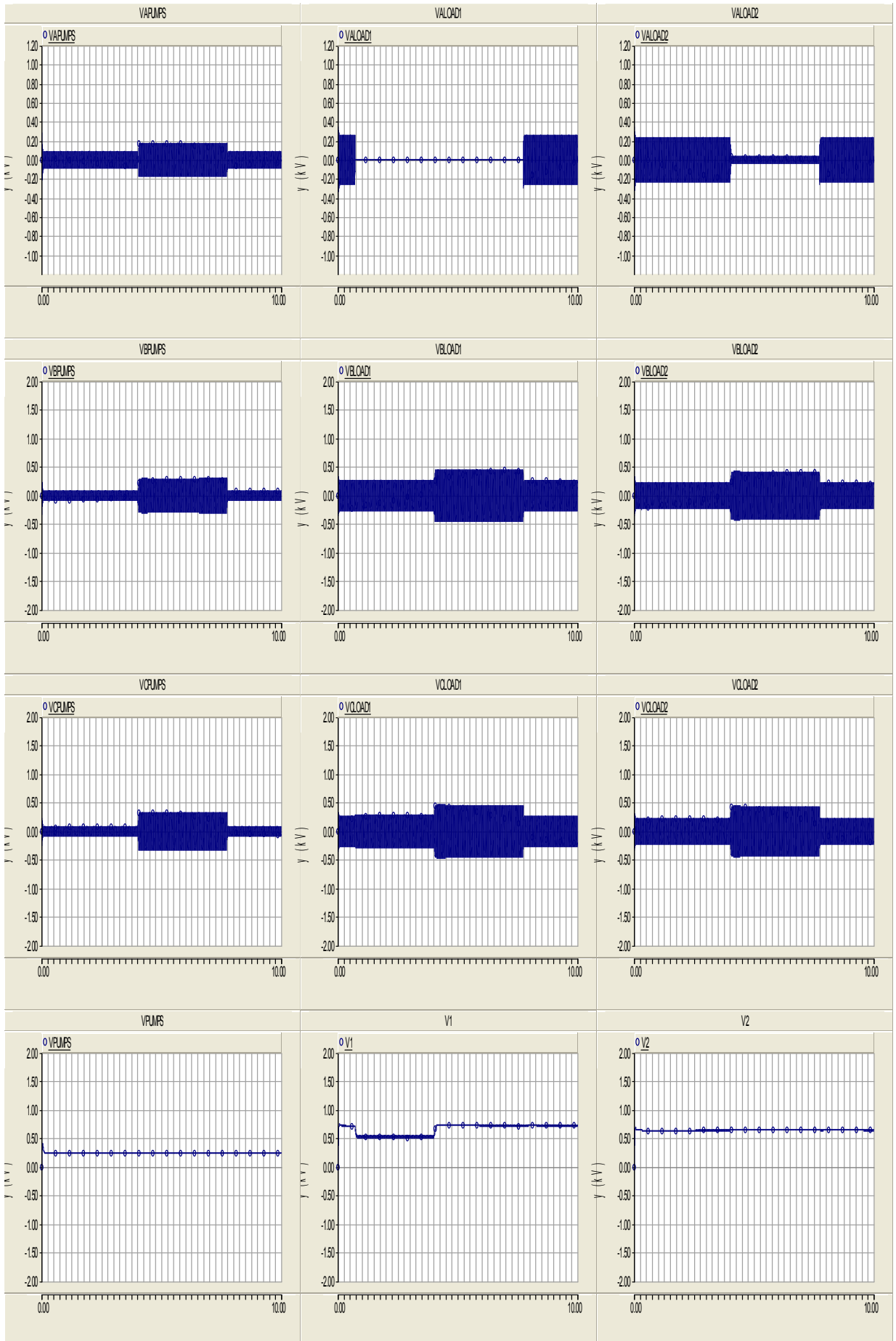
Στην περίπτωση B δημιουργήθηκε μία αντίφαση στα αποτελέσματα της εφαρμογής του σφάλματος A-G στο δίκτυο του υπό μελέτη πλοίου, λόγω του ότι θα έπρεπε να εμφανιστεί μηδενική τάση και στην A φάση των γεννητριών και στις A φάσεις των υπόλοιπων φορτίων πράγμα το οποίο δεν συνέβη. Ακόμα καλύτερα θα έπρεπε να υπάρξει εμφανή πτώση τάσης στην A φάση του δικτύου και αύξηση της τάσης στις υπόλοιπες δύο φάσεις. Ερευνώντας τα στοιχεία του δικτύου βγήκε το συμπέρασμα ότι κατά κάποιο τρόπο επηρέαζαν το σύστημα οι τιμές των χωρητικών αντιστάσεων C ( $\mu\text{f}$ ).

Πρώτη σκέψη λοιπόν, ήταν να εξαλειφθούν εντελώς οι πυκνωτές στην μοντελοποίηση των καλωδίων του δικτύου και με αυτό τον τρόπο ξαναεκτελέστηκε το πρόγραμμα PSCAD. Η εξομοίωση έβγαλε τα εξής αποτελέσματα:

### **Σφάλμα A-G στο load 1**







| FAULT TYPE | KILOVOLTS | SEA GOING |       |       | CARGO UNLOADING |       |       | GAS SYSTEM A |       |       |    |
|------------|-----------|-----------|-------|-------|-----------------|-------|-------|--------------|-------|-------|----|
|            |           | %         | %     | %     | %               | %     | %     | %            | %     | %     |    |
|            | VGEN1     | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| BC         |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| A-G        |           | 0,1       | 0,5   | 0,5   | 0,1             | 0,5   | 0,5   | 0,1          | 0,5   | 0,5   | 13 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
|            | VGEN2     | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| BC         |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| A-G        |           | 0,1       | 0,5   | 0,5   | 0,1             | 0,5   | 0,5   | 0,1          | 0,5   | 0,5   | 13 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
|            | VLOAD1    | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | 0               | 0     | 0     | 0            | 0     | 0     | 10 |
| BC         |           | 0,25      | 0,125 | 0,125 | 0,25            | 0,125 | 0,125 | 0,25         | 0,125 | 0,125 | 13 |
| A-G        |           | 0         | 0,45  | 0,45  | 0               | 0,45  | 0,45  | 0            | 0,45  | 0,45  | 12 |
| BC-G       |           | 0,3       | 0     | 0     | 0,3             | 0     | 0     | 0,3          | 0     | 0     | 11 |
|            | VLOAD2    | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
| BC         |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
| A-G        |           | 0,15      | 0,35  | 0,35  | 0,05            | 0,35  | 0,35  | 0,05         | 0,45  | 0,45  | 13 |
| BC-G       |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
|            | VLOAD3    | A         | B     | C     |                 |       |       |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC         |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| A-G        |           | 0,05      | 0,45  | 0,45  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
|            | VLOAD4    | A         | B     | C     |                 |       |       |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC         |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| A-G        |           | 0,05      | 0,45  | 0,45  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
|            | VPUMPS    |           |       |       | A               | B     | C     |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |
| BC         |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |
| A-G        |           |           |       |       | 0,2             | 0,35  | 0,35  |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |

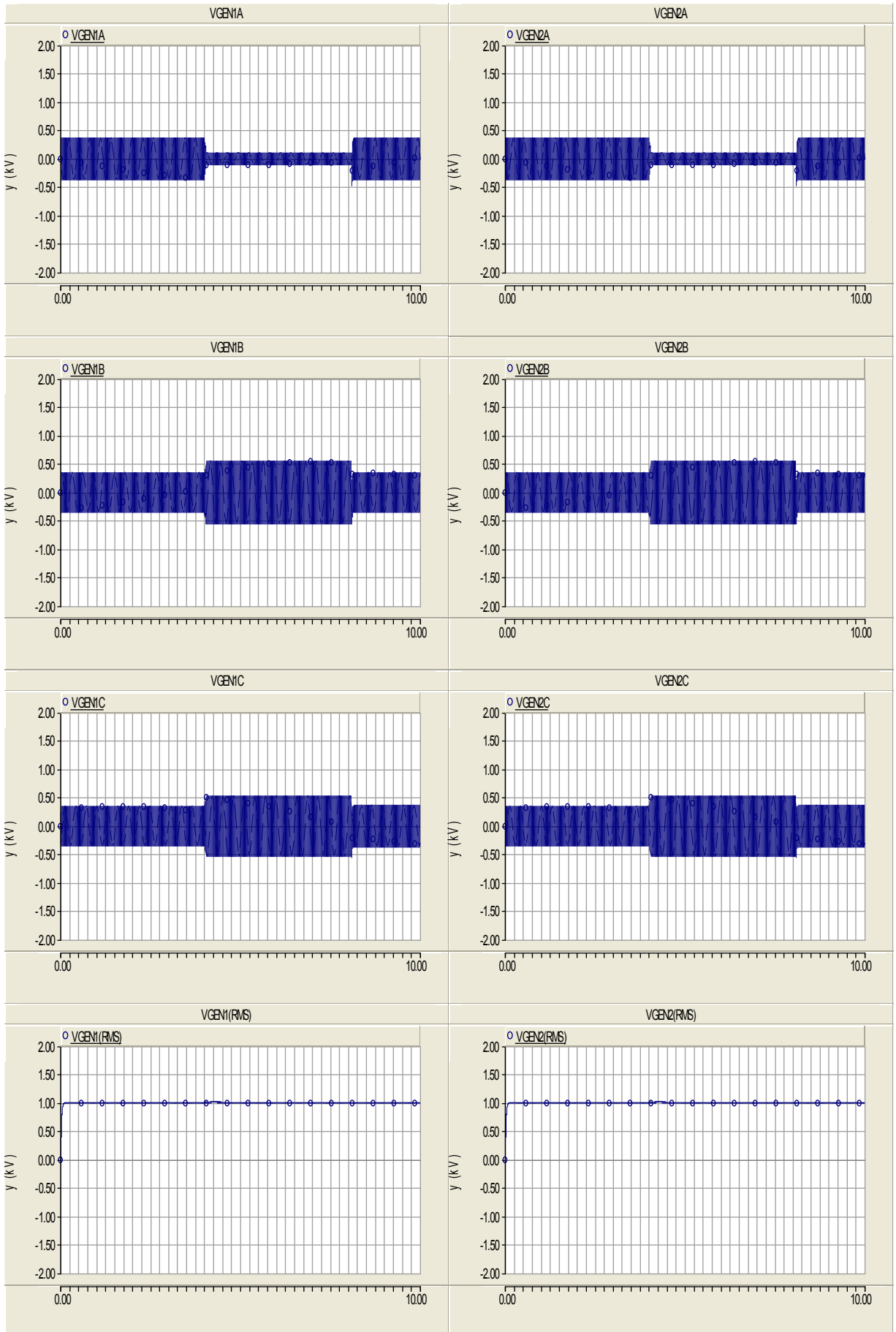
Παρατηρήθηκε εμφανή διαφορά στα αποτελέσματα με τιμές πτώσης τάσης αρκετά ικανοποιητικές. Στην Α φάση η τάση έτεινε στο μηδέν και στις άλλες δύο φάσεις υπήρχε ανύψωση τάσης. Και αυτό συμβαίνει για τον εξής λόγο σε ένα οποιοδήποτε πλοίο: ο ουδέτερος αγωγός σε ένα τριφασικό δίκτυο ενός πλοίου είναι κατά κανόνα αγείωτος, με αποτέλεσμα σε κάθε επαφή μιας φάσης με μεταλλικό κομμάτι της γάστρας του πλοίου να δημιουργείται βραχυκύκλωμα ,δηλαδή μηδενισμός της τάσης σε αυτή τη φάση και ανύψωσή της στις υπόλοιπες δύο.

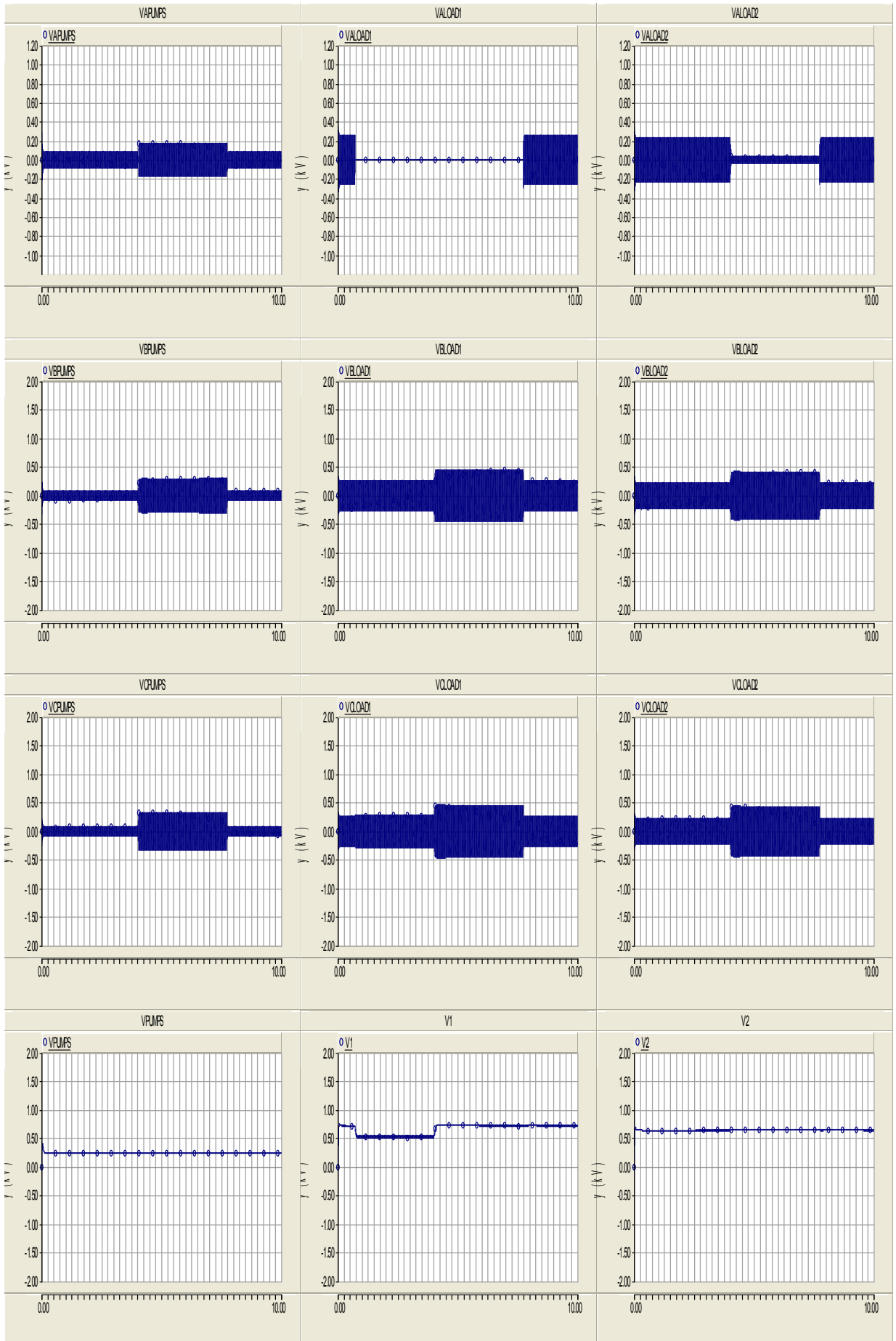
Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια να ελεγχθεί ο παράγοντας πυκνωτής στην επιρροή που έχει στον δεδομένο τύπο σφάλματος. Γι' αυτό τον λόγο αντί να εξαλειφθούν οι χωρητικές αντιστάσεις, μειώθηκε η αντίστασή τους στη μισή και εκτελέστηκε με τον ίδιο τρόπο το μοντελοποιημένο δίκτυο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στις επόμενες σελίδες :

Απ' ότι φαίνεται ελήφθησαν τα ίδια πάνω κάτω αποτελέσματα (οι τιμές της πτώσης τάσης και στις δύο περιπτώσεις διέφεραν κατά ελάχιστη τιμή περίπου  $\pm 0,05$  μονάδες) Δεδομένων των παραπάνω δεν έγινε κάποια άλλη εφαρμογή, έχοντας κατά νου ότι μειώνοντας τη χωρητική αντίσταση των καλωδίων θα έφερνε πιο κοντά στα επιθυμητά αποτελέσματα ενώ αντίστοιχη αύξησή της θα αλλοίωνε τις τιμές της πτώσης τάσης σε κάθε στοιχείο του κυκλώματος (γεννήτριες, υπόλοιπα φορτία).

Αναφορικά η αρχική τιμή της χωρητικής αντίστασης στο δίκτυο του υπό μελέτη πλοίου ήταν ίση με  $0,0771 \mu\text{f}$  ανά  $100 \text{ m}$  καλώδιο.

Συμπεραίνοντας οι τιμές του πυκνωτή ( $0,0771 \mu\text{f}$ ) επηρεάζουν σημαντικά τα μονοφασικά σφάλματα ,αντίθετα με μείωση αυτής της τιμής ή χωρίς καθόλου χρήση πυκνωτών το σφάλμα επέρχεται φυσιολογικά,(η Α φάση πέφτει προς το μηδέν παντού ενώ οι άλλες δύο Β, C ανεβαίνουν).





| FAULT TYPE | KILOVOLTS | SEA GOING |       |       | CARGO UNLOADING |       |       | GAS SYSTEM A |       |       |    |
|------------|-----------|-----------|-------|-------|-----------------|-------|-------|--------------|-------|-------|----|
|            |           | %         | %     | %     | %               | %     | %     | %            | %     | %     |    |
|            | VGEN1     | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| BC         |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| A-G        |           | 0,1       | 0,5   | 0,5   | 0,1             | 0,5   | 0,5   | 0,1          | 0,5   | 0,5   | 13 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
|            | VGEN2     | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| BC         |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
| A-G        |           | 0,1       | 0,5   | 0,5   | 0,1             | 0,5   | 0,5   | 0,1          | 0,5   | 0,5   | 13 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0,4   | 0,4   | 0,4             | 0,4   | 0,4   | 0,4          | 0,4   | 0,4   | 13 |
|            | VLOAD1    | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | 0               | 0     | 0     | 0            | 0     | 0     | 10 |
| BC         |           | 0,25      | 0,125 | 0,125 | 0,25            | 0,125 | 0,125 | 0,25         | 0,125 | 0,125 | 13 |
| A-G        |           | 0         | 0,45  | 0,45  | 0               | 0,45  | 0,45  | 0            | 0,45  | 0,45  | 12 |
| BC-G       |           | 0,3       | 0     | 0     | 0,3             | 0     | 0     | 0,3          | 0     | 0     | 11 |
|            | VLOAD2    | A         | B     | C     | A               | B     | C     | A            | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
| BC         |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
| A-G        |           | 0,15      | 0,35  | 0,35  | 0,05            | 0,35  | 0,35  | 0,05         | 0,45  | 0,45  | 13 |
| BC-G       |           | 0,15      | 0,15  | 0,15  | 0,25            | 0,25  | 0,25  | 0,25         | 0,25  | 0,25  | 13 |
|            | VLOAD3    | A         | B     | C     |                 |       |       |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC         |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| A-G        |           | 0,05      | 0,45  | 0,45  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
|            | VLOAD4    | A         | B     | C     |                 |       |       |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC         |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| A-G        |           | 0,05      | 0,45  | 0,45  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           | 0,25      | 0,25  | 0,25  |                 |       |       |              |       |       | 13 |
|            | VPUMPS    |           |       |       | A               | B     | C     |              |       |       |    |
|            | Vrms      |           |       |       |                 |       |       |              |       |       |    |
| ABC-G      |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |
| BC         |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |
| A-G        |           |           |       |       | 0,2             | 0,35  | 0,35  |              |       |       | 13 |
| BC-G       |           |           |       |       | 0,1             | 0,1   | 0,1   |              |       |       | 13 |

#### 4.4.3 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων χωρίς ισοδυναμία των κινητήρων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε επίσης προσπάθεια μελέτης βραχυκυκλώματος ενός μοντελοποιημένου δικτύου με όλους ξεχωριστά τους κινητήρες, χωρίς δηλαδή την ισοδυναμία σύμφωνα με τον κανονισμό IEC-61363. Η μελέτη έγινε για τις καταστάσεις υπηρεσίας Sea Going και Cargo Unloading ενώ το βραχυκύκλωμα εφαρμόστηκε μόνο στον κύριο ζυγό των γεννητριών. Συνολικά οι κινητήρες που μπορούσε να δεχτεί το πρόγραμμα PSCAD ήταν στον αριθμό 19. Όλα τα δεδομένα ήταν τα ίδια με αυτά των ισοδύναμων κινητήρων και το μόνο που διαπιστώθηκε ήταν ότι υπήρχε ισοκατανομή της πτώσης τάσης σε όλους τους επιμέρους κινητήρες, δηλαδή συμμετρική πτώση τάσης σε όλο το δίκτυο .

| FAULT TYPE | KILOVOLTS | SEA GOING |       |       |    |
|------------|-----------|-----------|-------|-------|----|
|            |           | %         | %     | %     |    |
|            | VGEN1     | A         | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,4       | 0,2   | 0,2   | I3 |
| A-G        |           | 0         | 0,4   | 0,4   | I2 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0     | 0     | I1 |
|            | VGEN2     | A         | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,4       | 0,2   | 0,2   | I3 |
| A-G        |           | 0         | 0,4   | 0,4   | I2 |
| BC-G       |           | 0,4       | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD1    | A         | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,3       | 0,15  | 0,15  | I3 |
| A-G        |           | 0         | 0,3   | 0,3   | I2 |
| BC-G       |           | 0,3       | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD2    | A         | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,35      | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G        |           | 0         | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G       |           | 0,35      | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD3    | A         | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0         | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,35      | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G        |           | 0         | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G       |           | 0,35      | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD4    | A         | B     | C     |    |
|            | Vrms      |           |       |       |    |

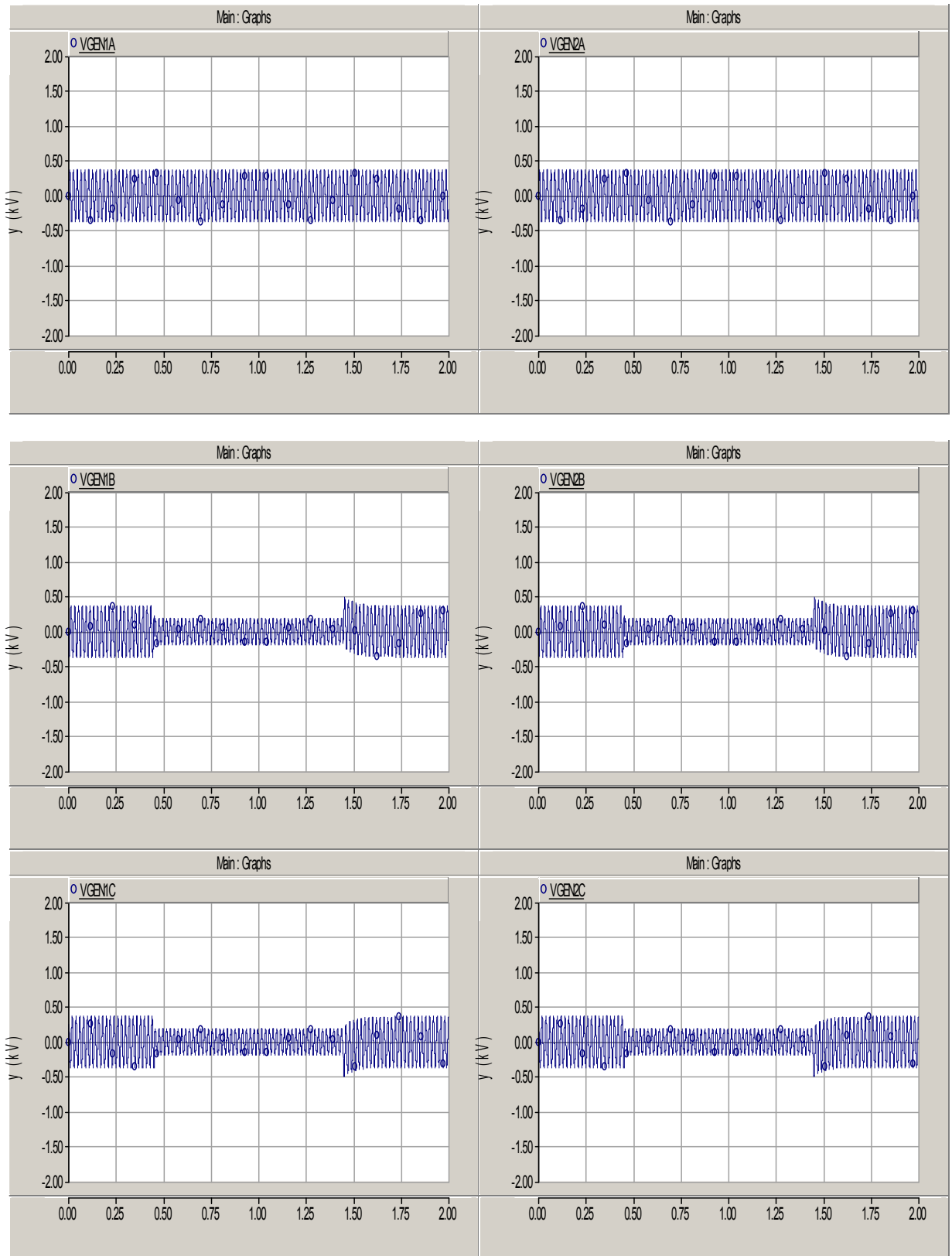
|       |  |         |      |       |       |    |
|-------|--|---------|------|-------|-------|----|
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | 10 |
| BC    |  |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | 13 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,25  | 0,25  | 12 |
| BC-G  |  |         | 0,25 | 0     | 0     | 11 |
|       |  | VLOAD5  | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | 10 |
| BC    |  |         | 0,2  | 0,1   | 0,1   | 13 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,2   | 0,2   | 12 |
| BC-G  |  |         | 0,2  | 0     | 0     | 11 |
|       |  | VLOAD6  | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | 10 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | 13 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | 12 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | 11 |
|       |  | VLOAD7  | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | 10 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | 13 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | 12 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | 11 |
|       |  | VLOAD8  | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | 10 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | 13 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | 12 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | 11 |
|       |  | VLOAD9  | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | 10 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | 13 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | 12 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | 11 |
|       |  | VLOAD10 | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | 10 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | 13 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | 12 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | 11 |
|       |  | VLOAD11 | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | 10 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | 13 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | 12 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | 11 |
|       |  | VLOAD12 | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | 10 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | 13 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | 12 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | 11 |

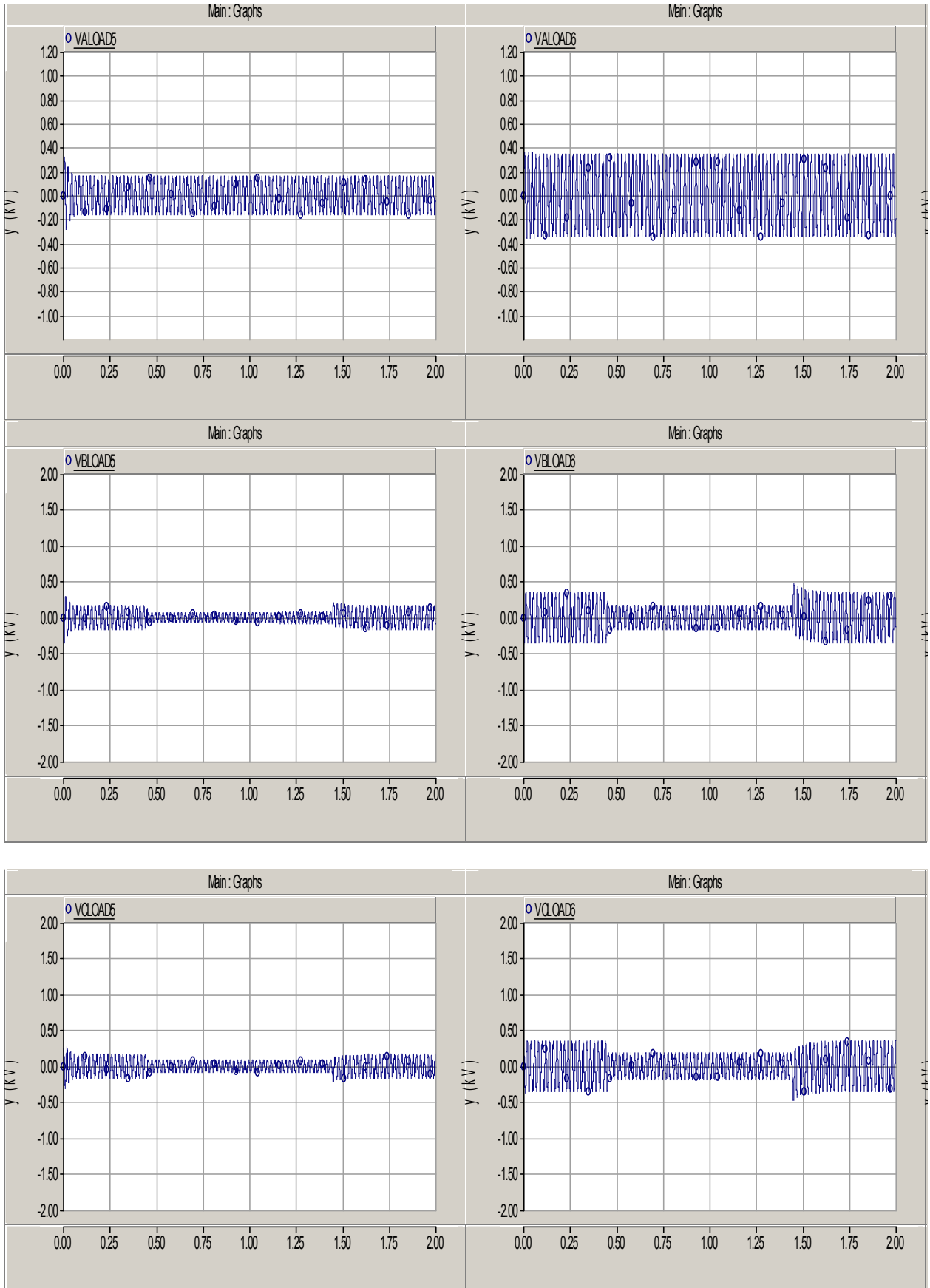


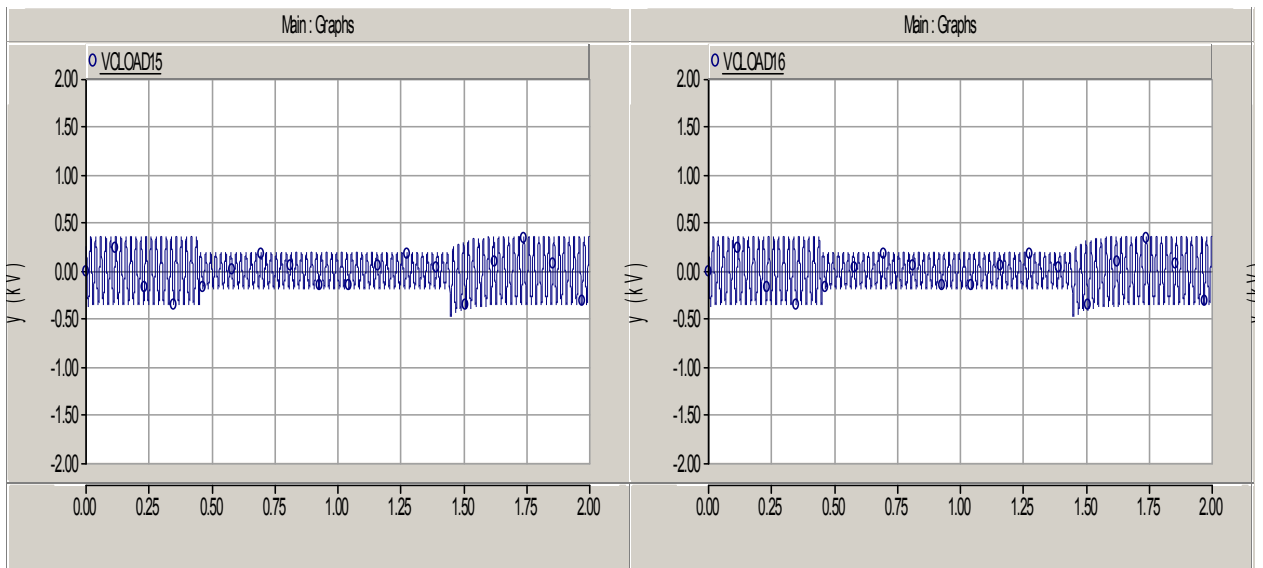
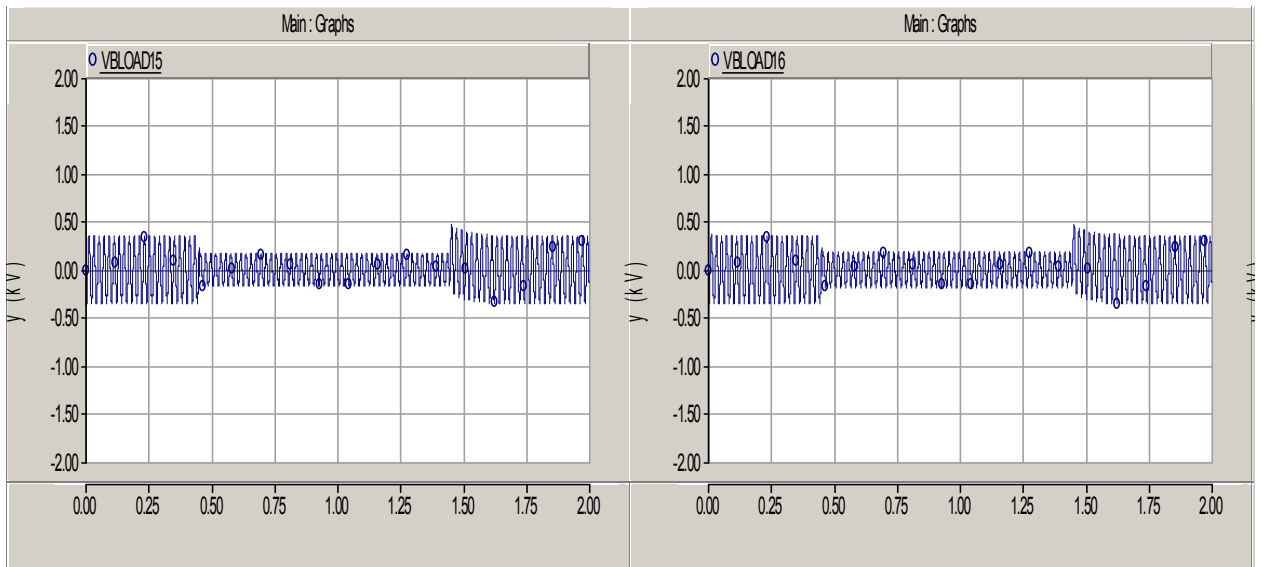
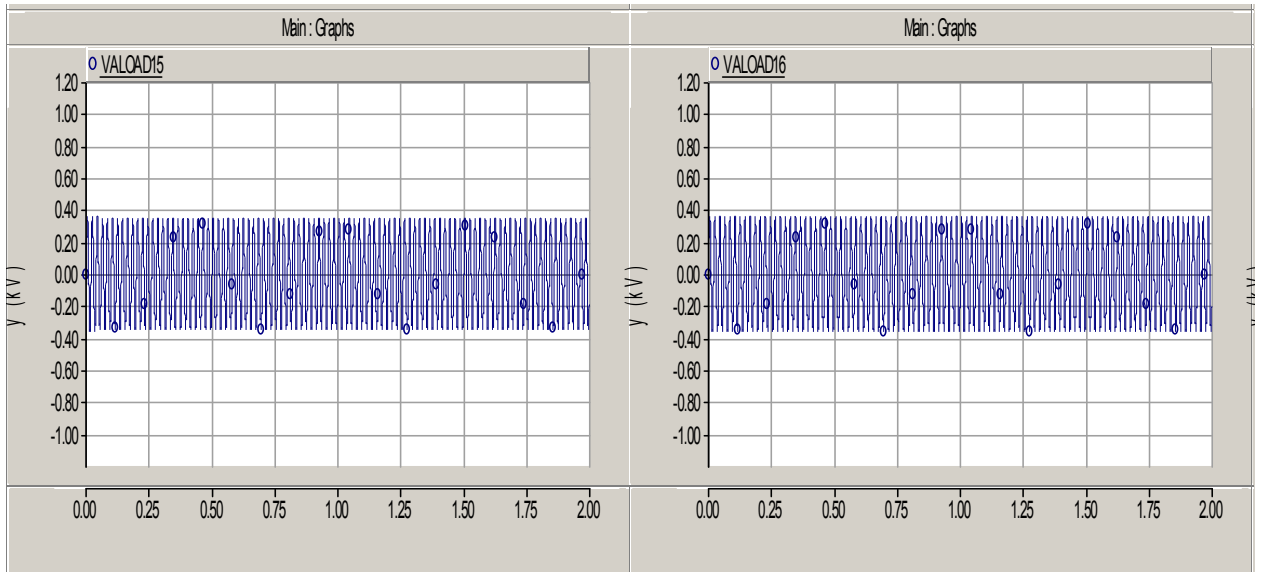
|  |       |         |      |       |       |    |
|--|-------|---------|------|-------|-------|----|
|  |       | VLOAD13 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD14 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD15 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD16 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD17 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD18 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD19 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |

Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι επόμενες κυματομορφές στις γεννήτριες και στα φορτία 5,6,15,16:

## Σφάλμα BC στον main bus







Αντίστοιχα στην κατάσταση χειρισμών:

| FAULT TYPE | KILOVOLTS | CARGO UNLOADING |       |       |    |
|------------|-----------|-----------------|-------|-------|----|
|            |           | %               | %     | %     |    |
|            | VGEN1     | A               | B     | C     |    |
|            | Vrms      |                 |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0               | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,4             | 0,2   | 0,2   | I3 |
| A-G        |           | 0               | 0,4   | 0,4   | I2 |
| BC-G       |           | 0,4             | 0     | 0     | I1 |
|            | VGEN2     | A               | B     | C     |    |
|            | Vrms      |                 |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0               | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,4             | 0,2   | 0,2   | I3 |
| A-G        |           | 0               | 0,4   | 0,4   | I2 |
| BC-G       |           | 0,4             | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD1    | A               | B     | C     |    |
|            | Vrms      |                 |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0               | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,35            | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G        |           | 0               | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G       |           | 0,35            | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD2    | A               | B     | C     |    |
|            | Vrms      |                 |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0               | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,35            | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G        |           | 0               | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G       |           | 0,35            | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD3    | A               | B     | C     |    |
|            | Vrms      |                 |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0               | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,35            | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G        |           | 0               | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G       |           | 0,35            | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD4    | A               | B     | C     |    |
|            | Vrms      |                 |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0               | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,35            | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G        |           | 0               | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G       |           | 0,35            | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD5    | A               | B     | C     |    |
|            | Vrms      |                 |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0               | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,25            | 0,125 | 0,125 | I3 |
| A-G        |           | 0               | 0,25  | 0,25  | I2 |
| BC-G       |           | 0,25            | 0     | 0     | I1 |
|            | VLOAD6    | A               | B     | C     |    |
|            | Vrms      |                 |       |       |    |
| ABC-G      |           | 0               | 0     | 0     | I0 |
| BC         |           | 0,25            | 0,125 | 0,125 | I3 |
| A-G        |           | 0               | 0,25  | 0,25  | I2 |
| BC-G       |           | 0,25            | 0     | 0     | I1 |

|  |       |         |      |       |       |    |
|--|-------|---------|------|-------|-------|----|
|  |       | VLOAD7  | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,25 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD8  | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,25 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD9  | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,25 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD10 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,25 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD11 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD12 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD13 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD14 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|  |       | VLOAD15 | A    | B     | C     |    |
|  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |

|       |  |         |      |       |       |    |
|-------|--|---------|------|-------|-------|----|
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|       |  | VLOAD16 | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|       |  | VLOAD17 | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|       |  | VLOAD18 | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
|       |  | VLOAD19 | A    | B     | C     |    |
|       |  | Vrms    |      |       |       |    |
| ABC-G |  |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
| BC    |  |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
| A-G   |  |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
| BC-G  |  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |

4.4.4. Σύγκριση υπό μορφή πινάκων για το δίκτυο με πυκνωτές και χωρίς.

| FAULT TYPE | AT LOAD1        |                  | ΟΙ ΤΑΣΕΙΣ ΕΙΝΑΙ ΣΤΟ % ΤΗΣ Vn=0,44KV |       |        |        |        |        |        |  |
|------------|-----------------|------------------|-------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|            |                 |                  | V%Vn                                |       |        |        |        |        |        |  |
|            |                 | PHASORS          | VGEN1                               | VGEN2 | VLOAD1 | VLOAD2 | VLOAD3 | VLOAD4 | VPUMPS |  |
| ABC-G      | SEA GOING       | A ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,15   | 0,25   | 0,25   |        |  |
|            |                 | A ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,15   | 0,25   | 0,25   |        |  |
|            |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0                                   | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      |        |  |
|            |                 | B ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,15   | 0,25   | 0,25   |        |  |
|            |                 | B ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,15   | 0,25   | 0,25   |        |  |
|            |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0                                   | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      |        |  |
|            |                 | C ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,15   | 0,25   | 0,25   |        |  |
|            |                 | C ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,15   | 0,25   | 0,25   |        |  |
|            |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0                                   | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      |        |  |
|            | CARGO UNLOADING | A ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        | 0,1    |  |
|            |                 | A ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        | 0,1    |  |
|            |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0                                   | 0     | 0      | 0      |        |        | 0      |  |
|            |                 | B ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        | 0,1    |  |
|            |                 | B ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        | 0,1    |  |
|            |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0                                   | 0     | 0      | 0      |        |        | 0      |  |
|            |                 | C ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        | 0,1    |  |
|            |                 | C ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        | 0,1    |  |
|            |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0                                   | 0     | 0      | 0      |        |        | 0      |  |
|            | GAS SYSTEM A    | A ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        |        |  |
|            |                 | A ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        |        |  |
|            |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0                                   | 0     | 0      | 0      |        |        |        |  |
|            |                 | B ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        |        |  |
|            |                 | B ΧΩΡΙΣ          | 0,4                                 | 0,4   | 0      | 0,25   |        |        |        |  |



|    |                    |                     |      |      |       |      |      |      |     |
|----|--------------------|---------------------|------|------|-------|------|------|------|-----|
|    |                    | ΠΥΚΝΩΤΕΣ            |      |      |       |      |      |      |     |
|    |                    | ΔΙΑΦΟΡΑ<br>ΤΙΜΗΣ    | 0    | 0    | 0     | 0    |      |      |     |
|    |                    | С ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0     | 0,25 |      |      |     |
|    |                    | С ΧΩΡΙΣ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4  | 0,4  | 0     | 0,25 |      |      |     |
| BC | SEA GOING          | Α ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,25  | 0,15 | 0,25 | 0,25 |     |
|    |                    | Α ΧΩΡΙΣ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4  | 0,4  | 0,25  | 0,15 | 0,25 | 0,25 |     |
|    |                    | ΔΙΑΦΟΡΑ<br>ΤΙΜΗΣ    | 0    | 0    | 0     | 0    | 0    | 0    |     |
|    |                    | В ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,125 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |     |
|    |                    | В ΧΩΡΙΣ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,45 | 0,45 | 0,125 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |     |
|    |                    | ΔΙΑΦΟΡΑ<br>ΤΙΜΗΣ    | 0,05 | 0,05 | 0     | 0    | 0    | 0    |     |
|    |                    | С ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,125 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |     |
|    |                    | С ΧΩΡΙΣ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,35 | 0,35 | 0,125 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |     |
|    |                    | ΔΙΑΦΟΡΑ<br>ΤΙΜΗΣ    | 0,05 | 0,05 | 0     | 0    | 0    | 0    |     |
|    | CARGO<br>UNLOADING | Α ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,25  | 0,25 |      |      | 0,1 |
|    |                    | Α ΧΩΡΙΣ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4  | 0,4  | 0,25  | 0,25 |      |      | 0,1 |
|    |                    | ΔΙΑΦΟΡΑ<br>ΤΙΜΗΣ    | 0    | 0    | 0     | 0    |      |      | 0   |
|    |                    | В ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,125 | 0,25 |      |      | 0,1 |
|    |                    | В ΧΩΡΙΣ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,45 | 0,45 | 0,125 | 0,25 |      |      | 0,1 |
|    |                    | ΔΙΑΦΟΡΑ<br>ΤΙΜΗΣ    | 0,05 | 0,05 | 0     | 0    |      |      | 0   |
|    |                    | С ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,125 | 0,25 |      |      | 0,1 |
|    |                    | С ΧΩΡΙΣ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,35 | 0,35 | 0,125 | 0,25 |      |      | 0,1 |
|    |                    | ΔΙΑΦΟΡΑ<br>ΤΙΜΗΣ    | 0,05 | 0,05 | 0     | 0    |      |      | 0   |
|    | GAS<br>SYSTEM A    | Α ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,25  | 0,25 |      |      |     |
|    |                    | Α ΧΩΡΙΣ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,4  | 0,4  | 0,25  | 0,25 |      |      |     |
|    |                    | ΔΙΑΦΟΡΑ<br>ΤΙΜΗΣ    | 0    | 0    | 0     | 0    |      |      |     |
|    |                    | В ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,125 | 0,25 |      |      |     |
|    |                    | В ΧΩΡΙΣ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,45 | 0,45 | 0,125 | 0,25 |      |      |     |
|    |                    | ΔΙΑΦΟΡΑ<br>ΤΙΜΗΣ    | 0,05 | 0,05 | 0     | 0    |      |      |     |
|    |                    | С ΜΕ<br>ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,125 | 0,25 |      |      |     |

|     |                 |                  |      |      |       |      |      |      |      |
|-----|-----------------|------------------|------|------|-------|------|------|------|------|
|     |                 | Σ ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,35 | 0,35 | 0,125 | 0,25 |      |      |      |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,05 | 0,05 | 0     | 0    |      |      |      |
| A-G | SEA GOING       | Α ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0     | 0,15 | 0,25 | 0,25 |      |
|     |                 | Α ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,1  | 0,1  | 0     | 0,15 | 0,05 | 0,05 |      |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,3  | 0,3  | 0     | 0    | 0,2  | 0,2  |      |
|     |                 | Β ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,3   | 0,15 | 0,25 | 0,25 |      |
|     |                 | Β ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,5  | 0,5  | 0,45  | 0,35 | 0,45 | 0,45 |      |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1  | 0,1  | 0,15  | 0,2  | 0,2  | 0,2  |      |
|     |                 | Σ ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,3   | 0,15 | 0,25 | 0,25 |      |
|     |                 | Σ ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,5  | 0,5  | 0,45  | 0,35 | 0,45 | 0,45 |      |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1  | 0,1  | 0,15  | 0,2  | 0,2  | 0,2  |      |
|     | CARGO UNLOADING | Α ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0     | 0,25 |      |      | 0,1  |
|     |                 | Α ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,1  | 0,1  | 0     | 0,05 |      |      | 0,2  |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,3  | 0,3  | 0     | 0,2  |      |      | 0,1  |
|     |                 | Β ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,3   | 0,25 |      |      | 0,1  |
|     |                 | Β ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,5  | 0,5  | 0,45  | 0,4  |      |      | 0,35 |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1  | 0,1  | 0,15  | 0,25 |      |      | 0,25 |
|     |                 | Σ ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,3   | 0,25 |      |      | 0,1  |
|     |                 | Σ ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,5  | 0,5  | 0,45  | 0,4  |      |      | 0,35 |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1  | 0,1  | 0,15  | 0,15 |      |      | 0,25 |
|     | GAS SYSTEM A    | Α ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0     | 0,25 |      |      |      |
|     |                 | Α ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,1  | 0,1  | 0     | 0    |      |      |      |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,3  | 0,3  | 0     | 0,25 |      |      |      |
|     |                 | Β ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,3   | 0,25 |      |      |      |
|     |                 | Β ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,5  | 0,5  | 0,45  | 0,45 |      |      |      |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1  | 0,1  | 0,15  | 0,2  |      |      |      |
|     |                 | Σ ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4  | 0,4  | 0,3   | 0,25 |      |      |      |
|     |                 | Σ ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,5  | 0,5  | 0,45  | 0,45 |      |      |      |
|     |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1  | 0,1  | 0,15  | 0,2  |      |      |      |

|      |                 |                  |     |     |     |      |      |      |       |
|------|-----------------|------------------|-----|-----|-----|------|------|------|-------|
|      |                 | ΤΙΜΗΣ            |     |     |     |      |      |      |       |
| BC-G | SEA GOING       | A ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |       |
|      |                 | A ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3  | 0,4  | 0,4  |       |
|      |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |       |
|      |                 | B ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4 | 0,4 | 0   | 0,15 | 0,25 | 0,25 |       |
|      |                 | B ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,3 | 0,3 | 0   | 0,1  | 0,2  | 0,2  |       |
|      |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1 | 0,1 | 0   | 0,05 | 0,05 | 0,05 |       |
|      |                 | C ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4 | 0,4 | 0   | 0,15 | 0,25 | 0,25 |       |
|      |                 | C ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,3 | 0,3 | 0   | 0,1  | 0,2  | 0,2  |       |
|      |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1 | 0,1 | 0   | 0,05 | 0,05 | 0,05 |       |
|      | CARGO UNLOADING | A ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,25 |      |      | 0,1   |
|      |                 | A ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4  |      |      | 0,25  |
|      |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,15 |      |      | 0,05  |
|      |                 | B ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4 | 0,4 | 0   | 0,25 |      |      | 0,1   |
|      |                 | B ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,3 | 0,3 | 0   | 0,2  |      |      | 0,125 |
|      |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1 | 0,1 | 0   | 0,05 |      |      | 0,025 |
|      |                 | C ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4 | 0,4 | 0   | 0,25 |      |      | 0,1   |
|      |                 | C ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,3 | 0,3 | 0   | 0,2  |      |      | 0,125 |
|      |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1 | 0,1 | 0   | 0,05 |      |      | 0,025 |
|      | GAS SYSTEM A    | A ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,25 |      |      |       |
|      |                 | A ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4  |      |      |       |
|      |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,15 |      |      |       |
|      |                 | B ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4 | 0,4 | 0   | 0,25 |      |      |       |
|      |                 | B ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,3 | 0,3 | 0   | 0,2  |      |      |       |
|      |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1 | 0,1 | 0   | 0,05 |      |      |       |
|      |                 | C ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ    | 0,4 | 0,4 | 0   | 0,25 |      |      |       |
|      |                 | C ΧΩΡΙΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ | 0,3 | 0,3 | 0   | 0,2  |      |      |       |
|      |                 | ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ    | 0,1 | 0,1 | 0   | 0,05 |      |      |       |

4.4.5. Σύγκριση υπό μορφή πινάκων για το δίκτυο (εν πλω-χειρισμοί) με και χωρίς την ισοδυναμία των κινητήρων.

|           |               |            |         |                               |                               |                                    |
|-----------|---------------|------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
|           |               |            |         |                               |                               |                                    |
|           |               | SEA GOING  |         |                               |                               | ΟΙ ΤΑΣΕΙΣ ΕΙΝΑΙ ΣΤΟ<br>% ΤΗΣ $V_n$ |
|           |               | ΕΝ ΠΛΩ     |         |                               |                               | $V\%V_n$                           |
|           |               |            |         |                               |                               |                                    |
|           | FAULT<br>TYPE | AT MAINBUS |         |                               |                               |                                    |
|           |               |            |         |                               |                               |                                    |
| ABC-<br>G |               |            |         | ΜΕ<br>ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ | ΜΕ ΟΛΟΥΣ<br>ΤΟΥΣ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ |                                    |
|           |               |            |         |                               |                               |                                    |
|           |               |            | PHASORS |                               |                               |                                    |
|           |               | VGEN1      | A       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               | VGEN2      | A       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               | VLOAD1     | A       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               | VLOAD2     | A       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               | VLOAD3     | A       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               | VLOAD4     | A       | 0                             | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       |                               | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       |                               | 0                             |                                    |
|           |               | VLOAD5     | A       |                               | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       |                               | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       |                               | 0                             |                                    |
|           |               | VLOAD6     | A       |                               | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       |                               | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       |                               | 0                             |                                    |
|           |               | VLOAD7     | A       |                               | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       |                               | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       |                               | 0                             |                                    |
|           |               | VLOAD8     | A       |                               | 0                             |                                    |
|           |               |            | B       |                               | 0                             |                                    |
|           |               |            | C       |                               | 0                             |                                    |
|           |               | VLOAD9     | A       |                               | 0                             |                                    |

|  |  |         |   |  |   |  |
|--|--|---------|---|--|---|--|
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD10 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD11 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD12 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD13 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD14 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD15 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD16 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD17 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD18 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |
|  |  | VLOAD19 | A |  | 0 |  |
|  |  |         | B |  | 0 |  |
|  |  |         | C |  | 0 |  |

| BC |        |         | ΜΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ | ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ |
|----|--------|---------|----------------------------|----------------------------|
|    |        |         |                            |                            |
|    |        | PHASORS |                            |                            |
|    | VGEN1  | A       | 0,4                        | 0,4                        |
|    |        | B       | 0,2                        | 0,2                        |
|    |        | C       | 0,2                        | 0,2                        |
|    | VGEN2  | A       | 0,4                        | 0,4                        |
|    |        | B       | 0,2                        | 0,2                        |
|    |        | C       | 0,2                        | 0,2                        |
|    | VLOAD1 | A       | 0,25                       | 0,3                        |
|    |        | B       | 0,125                      | 0,15                       |
|    |        | C       | 0,125                      | 0,15                       |
|    | VLOAD2 | A       | 0,16                       | 0,35                       |

|         |   |      |       |
|---------|---|------|-------|
|         | B | 0,08 | 0,175 |
|         | C | 0,08 | 0,175 |
| VLOAD3  | A | 0,24 | 0,35  |
|         | B | 0,12 | 0,175 |
|         | C | 0,12 | 0,175 |
| VLOAD4  | A | 0,24 | 0,25  |
|         | B | 0,12 | 0,125 |
|         | C | 0,12 | 0,125 |
| VLOAD5  | A |      | 0,2   |
|         | B |      | 0,1   |
|         | C |      | 0,1   |
| VLOAD6  | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD7  | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD8  | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD9  | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD10 | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD11 | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD12 | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD13 | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD14 | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD15 | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD16 | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |
|         | C |      | 0,175 |
| VLOAD17 | A |      | 0,35  |
|         | B |      | 0,175 |

|  |         |   |  |       |
|--|---------|---|--|-------|
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD18 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD19 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |

| A-G |  |         |         | ΜΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ | ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ |
|-----|--|---------|---------|----------------------------|----------------------------|
|     |  |         |         |                            |                            |
|     |  |         | PHASORS |                            |                            |
|     |  | VGEN1   | A       | 0                          | 0                          |
|     |  |         | B       | 0,4                        | 0,4                        |
|     |  |         | C       | 0,4                        | 0,4                        |
|     |  | VGEN2   | A       | 0                          | 0                          |
|     |  |         | B       | 0,4                        | 0,4                        |
|     |  |         | C       | 0,4                        | 0,4                        |
|     |  | VLOAD1  | A       | 0,05                       | 0                          |
|     |  |         | B       | 0,3                        | 0,3                        |
|     |  |         | C       | 0,3                        | 0,3                        |
|     |  | VLOAD2  | A       | 0,1                        | 0                          |
|     |  |         | B       | 0,15                       | 0,35                       |
|     |  |         | C       | 0,2                        | 0,35                       |
|     |  | VLOAD3  | A       | 0,05                       | 0                          |
|     |  |         | B       | 0,25                       | 0,35                       |
|     |  |         | C       | 0,25                       | 0,35                       |
|     |  | VLOAD4  | A       | 0,05                       | 0                          |
|     |  |         | B       | 0,25                       | 0,25                       |
|     |  |         | C       | 0,25                       | 0,25                       |
|     |  | VLOAD5  | A       |                            | 0                          |
|     |  |         | B       |                            | 0,2                        |
|     |  |         | C       |                            | 0,2                        |
|     |  | VLOAD6  | A       |                            | 0                          |
|     |  |         | B       |                            | 0,35                       |
|     |  |         | C       |                            | 0,35                       |
|     |  | VLOAD7  | A       |                            | 0                          |
|     |  |         | B       |                            | 0,35                       |
|     |  |         | C       |                            | 0,35                       |
|     |  | VLOAD8  | A       |                            | 0                          |
|     |  |         | B       |                            | 0,35                       |
|     |  |         | C       |                            | 0,35                       |
|     |  | VLOAD9  | A       |                            | 0                          |
|     |  |         | B       |                            | 0,35                       |
|     |  |         | C       |                            | 0,35                       |
|     |  | VLOAD10 | A       |                            | 0                          |
|     |  |         | B       |                            | 0,35                       |
|     |  |         | C       |                            | 0,35                       |
|     |  | VLOAD11 | A       |                            | 0                          |
|     |  |         | B       |                            | 0,35                       |

|  |  |         |   |  |      |
|--|--|---------|---|--|------|
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD12 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD13 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD14 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD15 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD16 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD17 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD18 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD19 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |

| BC-G |  |        |         | ΜΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ | ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ |
|------|--|--------|---------|----------------------------|----------------------------|
|      |  |        |         |                            |                            |
|      |  |        | PHASORS |                            |                            |
|      |  | VGEN1  | A       | 0,4                        | 0,4                        |
|      |  |        | B       | 0                          | 0                          |
|      |  |        | C       | 0                          | 0                          |
|      |  | VGEN2  | A       | 0,4                        | 0,4                        |
|      |  |        | B       | 0                          | 0                          |
|      |  |        | C       | 0                          | 0                          |
|      |  | VLOAD1 | A       | 0,3                        | 0,3                        |
|      |  |        | B       | 0,025                      | 0                          |
|      |  |        | C       | 0,025                      | 0                          |
|      |  | VLOAD2 | A       | 0,2                        | 0,35                       |
|      |  |        | B       | 0,1                        | 0                          |
|      |  |        | C       | 0,1                        | 0                          |
|      |  | VLOAD3 | A       | 0,3                        | 0,35                       |
|      |  |        | B       | 0,025                      | 0                          |
|      |  |        | C       | 0,025                      | 0                          |
|      |  | VLOAD4 | A       | 0,3                        | 0,25                       |
|      |  |        | B       | 0,025                      | 0                          |
|      |  |        | C       | 0,025                      | 0                          |
|      |  | VLOAD5 | A       |                            | 0,2                        |
|      |  |        | B       |                            | 0                          |



|  |  |         |   |  |      |
|--|--|---------|---|--|------|
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD6  | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD7  | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD8  | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD9  | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD10 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD11 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD12 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD13 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD14 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD15 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD16 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD17 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD18 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |
|  |  | VLOAD19 | A |  | 0,35 |
|  |  |         | B |  | 0    |
|  |  |         | C |  | 0    |

|            |         |                 |         |                         |                              |
|------------|---------|-----------------|---------|-------------------------|------------------------------|
|            |         | CARGO UNLOADING |         |                         | ΟΙ ΤΑΣΕΙΣ ΕΙΝΑΙ ΣΤΟ % THS Vn |
|            |         | ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ       |         |                         | V%Vn                         |
| FAULT TYPE |         | AT MAINBUS      |         |                         |                              |
| ABC-G      |         |                 |         | ΜΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ | ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ      |
|            |         |                 | PHASORS |                         |                              |
|            | VGEN1   |                 | A       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | B       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | C       | 0                       | 0                            |
|            | VGEN2   |                 | A       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | B       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | C       | 0                       | 0                            |
|            | VLOAD1  |                 | A       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | B       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | C       | 0                       | 0                            |
|            | VLOAD2  |                 | A       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | B       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | C       | 0                       | 0                            |
|            | VLOAD3  |                 | A       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | B       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | C       | 0                       | 0                            |
|            | VLOAD4  |                 | A       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | B       | 0                       | 0                            |
|            |         |                 | C       | 0                       | 0                            |
|            | VLOAD5  |                 | A       |                         | 0                            |
|            |         |                 | B       |                         | 0                            |
|            |         |                 | C       |                         | 0                            |
|            | VLOAD6  |                 | A       |                         | 0                            |
|            |         |                 | B       |                         | 0                            |
|            |         |                 | C       |                         | 0                            |
|            | VLOAD7  |                 | A       |                         | 0                            |
|            |         |                 | B       |                         | 0                            |
|            |         |                 | C       |                         | 0                            |
|            | VLOAD8  |                 | A       |                         | 0                            |
|            |         |                 | B       |                         | 0                            |
|            |         |                 | C       |                         | 0                            |
|            | VLOAD9  |                 | A       |                         | 0                            |
|            |         |                 | B       |                         | 0                            |
|            |         |                 | C       |                         | 0                            |
|            | VLOAD10 |                 | A       |                         | 0                            |
|            |         |                 | B       |                         | 0                            |
|            |         |                 | C       |                         | 0                            |

|  |         |   |  |   |
|--|---------|---|--|---|
|  | VLOAD11 | A |  | 0 |
|  |         | B |  | 0 |
|  |         | C |  | 0 |
|  | VLOAD12 | A |  | 0 |
|  |         | B |  | 0 |
|  |         | C |  | 0 |
|  | VLOAD13 | A |  | 0 |
|  |         | B |  | 0 |
|  |         | C |  | 0 |
|  | VLOAD14 | A |  | 0 |
|  |         | B |  | 0 |
|  |         | C |  | 0 |
|  | VLOAD15 | A |  | 0 |
|  |         | B |  | 0 |
|  |         | C |  | 0 |
|  | VLOAD16 | A |  | 0 |
|  |         | B |  | 0 |
|  |         | C |  | 0 |
|  | VLOAD17 | A |  | 0 |
|  |         | B |  | 0 |
|  |         | C |  | 0 |
|  | VLOAD18 | A |  | 0 |
|  |         | B |  | 0 |
|  |         | C |  | 0 |
|  | VLOAD19 | A |  | 0 |
|  |         | B |  | 0 |
|  |         | C |  | 0 |

| BC |        |         | ΜΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ | ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ |
|----|--------|---------|-------------------------|-------------------------|
|    |        | PHASORS |                         |                         |
|    | VGEN1  | A       | 0,4                     | 0,4                     |
|    |        | B       | 0,2                     | 0,2                     |
|    |        | C       | 0,2                     | 0,2                     |
|    | VGEN2  | A       | 0,4                     | 0,4                     |
|    |        | B       | 0,2                     | 0,2                     |
|    |        | C       | 0,2                     | 0,2                     |
|    | VLOAD1 | A       | 0,28                    | 0,35                    |
|    |        | B       | 0,14                    | 0,175                   |
|    |        | C       | 0,14                    | 0,175                   |
|    | VLOAD2 | A       | 0,22                    | 0,35                    |
|    |        | B       | 0,11                    | 0,175                   |
|    |        | C       | 0,11                    | 0,175                   |
|    | VLOAD3 | A       | 0,1                     | 0,35                    |
|    |        | B       | 0,05                    | 0,175                   |
|    |        | C       | 0,05                    | 0,175                   |
|    | VLOAD4 | A       |                         | 0,35                    |

|  |         |   |  |       |
|--|---------|---|--|-------|
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD5  | A |  | 0,25  |
|  |         | B |  | 0,125 |
|  |         | C |  | 0,125 |
|  | VLOAD6  | A |  | 0,25  |
|  |         | B |  | 0,125 |
|  |         | C |  | 0,125 |
|  | VLOAD7  | A |  | 0,25  |
|  |         | B |  | 0,125 |
|  |         | C |  | 0,125 |
|  | VLOAD8  | A |  | 0,25  |
|  |         | B |  | 0,125 |
|  |         | C |  | 0,125 |
|  | VLOAD9  | A |  | 0,25  |
|  |         | B |  | 0,125 |
|  |         | C |  | 0,125 |
|  | VLOAD10 | A |  | 0,25  |
|  |         | B |  | 0,125 |
|  |         | C |  | 0,125 |
|  | VLOAD11 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD12 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD13 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD14 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD15 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD16 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD17 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD18 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |
|  | VLOAD19 | A |  | 0,35  |
|  |         | B |  | 0,175 |
|  |         | C |  | 0,175 |

| A-G |         |   |         | ΜΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ | ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ |
|-----|---------|---|---------|----------------------------|----------------------------|
|     |         |   | PHASORS |                            |                            |
|     | VGEN1   | A |         | 0                          | 0                          |
|     |         | B |         | 0,4                        | 0,4                        |
|     |         | C |         | 0,4                        | 0,4                        |
|     | VGEN2   | A |         | 0                          | 0                          |
|     |         | B |         | 0,4                        | 0,4                        |
|     |         | C |         | 0,4                        | 0,4                        |
|     | VLOAD1  | A |         | 0,05                       | 0                          |
|     |         | B |         | 0,25                       | 0,35                       |
|     |         | C |         | 0,3                        | 0,35                       |
|     | VLOAD2  | A |         | 0,05                       | 0                          |
|     |         | B |         | 0,22                       | 0,35                       |
|     |         | C |         | 0,28                       | 0,35                       |
|     | VLOAD3  | A |         | 0,1                        | 0                          |
|     |         | B |         | 0,15                       | 0,35                       |
|     |         | C |         | 0,18                       | 0,35                       |
|     | VLOAD4  | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,35                       |
|     |         | C |         |                            | 0,35                       |
|     | VLOAD5  | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,25                       |
|     |         | C |         |                            | 0,25                       |
|     | VLOAD6  | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,25                       |
|     |         | C |         |                            | 0,25                       |
|     | VLOAD7  | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,25                       |
|     |         | C |         |                            | 0,25                       |
|     | VLOAD8  | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,25                       |
|     |         | C |         |                            | 0,25                       |
|     | VLOAD9  | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,25                       |
|     |         | C |         |                            | 0,25                       |
|     | VLOAD10 | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,25                       |
|     |         | C |         |                            | 0,25                       |
|     | VLOAD11 | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,35                       |
|     |         | C |         |                            | 0,35                       |
|     | VLOAD12 | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,35                       |
|     |         | C |         |                            | 0,35                       |
|     | VLOAD13 | A |         |                            | 0                          |
|     |         | B |         |                            | 0,35                       |

|  |  |         |   |  |      |
|--|--|---------|---|--|------|
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD14 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD15 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD16 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD17 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD18 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  | VLOAD19 | A |  | 0    |
|  |  |         | B |  | 0,35 |
|  |  |         | C |  | 0,35 |
|  |  |         |   |  |      |

| BC-G |  |        |         | ΜΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ | ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ<br>ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ |
|------|--|--------|---------|----------------------------|----------------------------|
|      |  |        |         |                            |                            |
|      |  |        | PHASORS |                            |                            |
|      |  | VGEN1  | A       | 0,4                        | 0,4                        |
|      |  |        | B       | 0                          | 0                          |
|      |  |        | C       | 0                          | 0                          |
|      |  | VGEN2  | A       | 0,4                        | 0,4                        |
|      |  |        | B       | 0                          | 0                          |
|      |  |        | C       | 0                          | 0                          |
|      |  | VLOAD1 | A       | 0,3                        | 0,35                       |
|      |  |        | B       | 0,05                       | 0                          |
|      |  |        | C       | 0,05                       | 0                          |
|      |  | VLOAD2 | A       | 0,26                       | 0,35                       |
|      |  |        | B       | 0,05                       | 0                          |
|      |  |        | C       | 0,05                       | 0                          |
|      |  | VLOAD3 | A       | 0,2                        | 0,35                       |
|      |  |        | B       | 0,1                        | 0                          |
|      |  |        | C       | 0,1                        | 0                          |
|      |  | VLOAD4 | A       |                            | 0,35                       |
|      |  |        | B       |                            | 0                          |
|      |  |        | C       |                            | 0                          |
|      |  | VLOAD5 | A       |                            | 0,25                       |
|      |  |        | B       |                            | 0                          |
|      |  |        | C       |                            | 0                          |

|  |         |   |  |      |
|--|---------|---|--|------|
|  | VLOAD6  | A |  | 0,25 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD7  | A |  | 0,25 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD8  | A |  | 0,25 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD9  | A |  | 0,25 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD10 | A |  | 0,25 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD11 | A |  | 0,35 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD12 | A |  | 0,35 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD13 | A |  | 0,35 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD14 | A |  | 0,35 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD15 | A |  | 0,35 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD16 | A |  | 0,35 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD17 | A |  | 0,35 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD18 | A |  | 0,35 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |
|  | VLOAD19 | A |  | 0,35 |
|  |         | B |  | 0    |
|  |         | C |  | 0    |

|           |           |       |       | ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ    |     |         |         |         |           |                 |        |      |       |       |    |
|-----------|-----------|-------|-------|----------------------------|-----|---------|---------|---------|-----------|-----------------|--------|------|-------|-------|----|
| KILOVOLTS | SEA GOING |       |       | ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΝ ΠΛΩ - ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ |     |         |         |         | KILOVOLTS | CARGO UNLOADING |        |      |       |       |    |
|           | %         | %     | %     |                            |     |         |         |         |           | %               | %      | %    |       |       |    |
| VGEN1     | A         | B     | C     |                            |     | Vn=     | 0,44    | kV      |           | FAULT TYPE      | VGEN1  | A    | B     | C     |    |
| Vrms      |           |       |       |                            |     |         |         |         |           |                 | Vrms   |      |       |       |    |
|           | 0         | 0     | 0     | I0                         |     |         |         |         |           | ABC-G           |        | 0    | 0     | 0     | I0 |
|           | 0,4       | 0,2   | 0,2   | I3                         |     |         |         |         |           | BC              |        | 0,4  | 0,2   | 0,2   | I3 |
|           | 0         | 0,4   | 0,4   | I2                         |     | A(%Vn)  | B(%Vn)  | C(%Vn)  |           | A-G             |        | 0    | 0,4   | 0,4   | I2 |
|           | 0,4       | 0     | 0     | I1                         | I0  | 0       | 0       | 0       |           | BC-G            |        | 0,4  | 0     | 0     | I1 |
| VGEN2     | A         | B     | C     |                            | I1  | 0       | 0       | <0,8    |           |                 | VGEN2  | A    | B     | C     |    |
| Vrms      |           |       |       |                            | I2  | 0       | <0,8    | <0,8    |           |                 | Vrms   |      |       |       |    |
|           | 0         | 0     | 0     | I0                         | I3  | <0,8    | <0,8    | <0,8    |           | ABC-G           |        | 0    | 0     | 0     | I0 |
|           | 0,4       | 0,2   | 0,2   | I3                         | II1 | <0,8    | <0,8    | 1       |           | BC              |        | 0,4  | 0,2   | 0,2   | I3 |
|           | 0         | 0,4   | 0,4   | I2                         | II2 | <0,8    | 1       | 1       |           | A-G             |        | 0    | 0,4   | 0,4   | I2 |
|           | 0,4       | 0     | 0     | I1                         | III | 0       | >1      | >1      |           | BC-G            |        | 0,4  | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD1    | A         | B     | C     |                            | IV  | >0.8&<1 | >0.8&<1 | >0.8&<1 |           |                 | VLOAD1 | A    | B     | C     |    |
| Vrms      |           |       |       |                            |     |         |         |         |           |                 | Vrms   |      |       |       |    |
|           | 0         | 0     | 0     | I0                         |     |         |         |         |           | ABC-G           |        | 0    | 0     | 0     | I0 |
|           | 0,3       | 0,15  | 0,15  | I3                         |     |         |         |         |           | BC              |        | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|           | 0         | 0,3   | 0,3   | I2                         |     |         |         |         |           | A-G             |        | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|           | 0,3       | 0     | 0     | I1                         |     |         |         |         |           | BC-G            |        | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD2    | A         | B     | C     |                            |     |         |         |         |           |                 | VLOAD2 | A    | B     | C     |    |
| Vrms      |           |       |       |                            |     |         |         |         |           |                 | Vrms   |      |       |       |    |
|           | 0         | 0     | 0     | I0                         |     |         |         |         |           | ABC-G           |        | 0    | 0     | 0     | I0 |
|           | 0,35      | 0,175 | 0,175 | I3                         |     |         |         |         |           | BC              |        | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|           | 0         | 0,35  | 0,35  | I2                         |     |         |         |         |           | A-G             |        | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|           | 0,35      | 0     | 0     | I1                         |     |         |         |         |           | BC-G            |        | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD3    | A         | B     | C     |                            |     |         |         |         |           |                 | VLOAD3 | A    | B     | C     |    |
| Vrms      |           |       |       |                            |     |         |         |         |           |                 | Vrms   |      |       |       |    |
|           | 0         | 0     | 0     | I0                         |     |         |         |         |           | ABC-G           |        | 0    | 0     | 0     | I0 |
|           | 0,35      | 0,175 | 0,175 | I3                         |     |         |         |         |           | BC              |        | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|           | 0         | 0,35  | 0,35  | I2                         |     |         |         |         |           | A-G             |        | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|           | 0,35      | 0     | 0     | I1                         |     |         |         |         |           | BC-G            |        | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD4    | A         | B     | C     |                            |     |         |         |         |           |                 | VLOAD4 | A    | B     | C     |    |
| Vrms      |           |       |       |                            |     |         |         |         |           |                 | Vrms   |      |       |       |    |
|           | 0         | 0     | 0     | I0                         |     |         |         |         |           | ABC-G           |        | 0    | 0     | 0     | I0 |
|           | 0,25      | 0,125 | 0,125 | I3                         |     |         |         |         |           | BC              |        | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|           | 0         | 0,25  | 0,25  | I2                         |     |         |         |         |           | A-G             |        | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|           | 0,25      | 0     | 0     | I1                         |     |         |         |         |           | BC-G            |        | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD5    | A         | B     | C     |                            |     |         |         |         |           |                 | VLOAD5 | A    | B     | C     |    |
| Vrms      |           |       |       |                            |     |         |         |         |           |                 | Vrms   |      |       |       |    |
|           | 0         | 0     | 0     | I0                         |     |         |         |         |           | ABC-G           |        | 0    | 0     | 0     | I0 |
|           | 0,2       | 0,1   | 0,1   | I3                         |     |         |         |         |           | BC              |        | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |
|           | 0         | 0,2   | 0,2   | I2                         |     |         |         |         |           | A-G             |        | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |
|           | 0,2       | 0     | 0     | I1                         |     |         |         |         |           | BC-G            |        | 0,25 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD6    | A         | B     | C     |                            |     |         |         |         |           |                 | VLOAD6 | A    | B     | C     |    |



|         |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       |         |      |       |       |    |  |  |  |  |
|---------|------|-------|-------|----|--|--|--|--|--|-------|---------|------|-------|-------|----|--|--|--|--|
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |  |  |  |  |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,25 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |
| VLOAD7  | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD7  | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |  |  |  |  |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,25 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |
| VLOAD8  | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD8  | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |  |  |  |  |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,25 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |
| VLOAD9  | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD9  | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |  |  |  |  |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,25 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |
| VLOAD10 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD10 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,25 | 0,125 | 0,125 | I3 |  |  |  |  |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,25  | 0,25  | I2 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,25 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |
| VLOAD11 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD11 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |
| VLOAD12 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD12 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |
| VLOAD13 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD13 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |
| VLOAD14 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD14 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |

|         |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       |         |      |       |       |    |
|---------|------|-------|-------|----|--|--|--|--|--|-------|---------|------|-------|-------|----|
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD15 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD15 | A    | B     | C     |    |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD16 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD16 | A    | B     | C     |    |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD17 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD17 | A    | B     | C     |    |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD18 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD18 | A    | B     | C     |    |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |
| VLOAD19 | A    | B     | C     |    |  |  |  |  |  |       | VLOAD19 | A    | B     | C     |    |
| Vrms    |      |       |       |    |  |  |  |  |  |       | Vrms    |      |       |       |    |
|         | 0    | 0     | 0     | I0 |  |  |  |  |  | ABC-G |         | 0    | 0     | 0     | I0 |
|         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |  |  |  |  |  | BC    |         | 0,35 | 0,175 | 0,175 | I3 |
|         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |  |  |  |  |  | A-G   |         | 0    | 0,35  | 0,35  | I2 |
|         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |  |  |  |  |  | BC-G  |         | 0,35 | 0     | 0     | I1 |

## **Κεφάλαιο 5. Ανακεφαλαίωση και προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση**

### **5.1. Ανακεφαλαίωση**

Η συνεισφορά της παρούσας εργασίας είναι να γίνει η συνέχιση της μελέτης φαινομένων διαταραχών τάσης σε ΣΗΕ πλοίων τα οποία οφείλονται σε βραχυκυκλώματα,. Στη ξηρά έχουν δημιουργηθεί μέθοδοι ταξινόμησης σφαλμάτων, αλλά λόγω των ιδιοτήτων των ΣΗΕ των πλοίων πρέπει οι μέθοδοι αυτές να τροποποιηθούν ή ακόμα και να επεκταθούν. Πιο συγκεκριμένα έχουν δημιουργηθεί η πρακτική Μέθοδος ‘ABC’ και η περισσότερο αναλυτική και θεωρητική Μέθοδος των Συμμετρικών Συνιστωσών.

Οι υπάρχοντες κανονισμοί των Νηογνομόνων σχετικά με τον σχεδιασμό της προστασίας των δικτύων από βραχυκυκλώματα βασίζονται στο Διεθνή Κανονισμό ‘IEC 61363’. Ο εν λόγω κανονισμός προτείνει μία μεθοδολογία υπολογισμού του ρεύματος βραχυκυκλώσεως σε δίκτυα E.P, προσαρμοσμένη ειδικά σε ΣΗΕ πλοίων. Σαν δυσμενέστερη περίπτωση σφάλματος θεωρείται το τριφασικό, οπότε είναι και η μόνη που εξετάζεται, ενώ οι υπόλοιπες περιπτώσεις σφάλματος αμελούνται.

Συμπεραίνει λοιπόν κανείς, ότι τα διάφορα προβλήματα ποιότητας ενέργειας που προκαλούνται από την εφαρμογή διαφόρων τύπων σφαλμάτων σε ένα ΣΗΕ πλοίου, είναι ένα επιστημονικό πεδίο που επιδέχεται περαιτέρω διερεύνηση.

Ένα σημαντικό βήμα για τη δημιουργία μεθόδων ταξινόμησης σφαλμάτων, αποτελεί η μοντελοποίηση ενός πραγματικού ολοκληρωμένου ΣΗΕ πλοίου. Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε να μοντελοποιηθεί το ΣΗΕ ενός πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) λόγω των όποιων ιδιοτήτων έχει στο ηλεκτρικό φορτίο και λόγω μη επαρκών στοιχείων του, μέχρι πρότινος στην Ελλάδα.

Για τη μοντελοποίηση των ασύγχρονων κινητήρων ακολουθήθηκε η φιλοσοφία του Κανονισμού ‘IEC 61363’. Οι ‘μεγάλοι’ κινητήρες μοντελοποιήθηκαν ο καθένας ξεχωριστά, ενώ οι ‘μικροί’ ανά ομάδα καταναλωτών. Η μοντελοποίηση των ασύγχρονων κινητήρων στο ‘EMTDC/PSCAD’ είναι αρκετά λεπτομερής. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τεχνικά χαρακτηριστικά από διάφορους κατασκευαστές κινητήρων, σε συνδυασμό με εμπειρικές σχέσεις από τη διεθνή

βιβλιογραφία. Η μοντελοποίηση των Σύγχρονων Γεννητριών στο 'EMTDC/PSCAD' είναι ακόμα πιο λεπτομερής από αυτή των ασύγχρονων κινητήρων. Απαιτούνται τιμές για τις μεταβατικές αντιδράσεις των κυκλωμάτων, αλλά και τις χρονικές σταθερές τους, οι οποίες και υπολογίστηκαν. Όλα κρίθηκαν επιτυχή αφού τόσο στη Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας τους, όσο και στις μεταβατικές καταστάσεις λειτουργίας, οι γεννήτριες παρουσίασαν προβλεπόμενη συμπεριφορά. Σχετικά με τη μοντελοποίηση των καλωδίων πάρθηκαν στοιχεία από κατασκευαστές, ενώ ήταν απαραίτητος και ο καθορισμός του μήκους τους.

## 5.2. Παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Για να υπάρξει μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα της συμπεριφοράς του δικτύου έγιναν προσομοιώσεις και για τα τρία κύρια προφίλ λειτουργίας του υπό μελέτη πλοίου (εν πλω, ελιγμοί, εν όρμω). Έγινε καταγραφή των φασικών τάσεων σε διάφορα σημεία του ΣΗΕ και διαπιστώθηκε πως πράγματι υπάρχει διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων, ανάλογα με το είδος σφάλματος και το πού πραγματοποιείται αυτό.

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και την αντίστοιχη ταξινόμηση των σφαλμάτων προέκυψαν ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Στις περιπτώσεις μονοφασικού σφάλματος προς Γη παρατηρήθηκε το εξής: η τάση στη φάση Α που υπόκειται στο σφάλμα, στην περίπτωση που αυτό εφαρμόζεται στο φορτίο 1 και όχι στον κύριο ζυγό, δεν πέφτει στα υπόλοιπα φορτία και στις γεννήτριες πράγμα το οποίο δεν αναμενόταν να συμβεί. Το λογικό θα ήταν να μικραίνει η τάση σε κάθε Α φάση όλου του δικτύου, πράγμα το οποίο δεν συνέβη. Η επόμενη σκέψη ήταν να εξαλειφθούν οι χωρητικές αντιστάσεις από τη μοντελοποίηση των καλωδίων και να ξαναεκτελεστεί το πρόγραμμα PSCAD. Πράγματι τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και διαπιστώθηκε ότι η τάση της μίας φάσης μηδενίζεται ή γίνεται ελάχιστη σε όλο το δίκτυο, επηρεάζοντας και τις γεννήτριες και τα υπόλοιπα φορτία.

Η ύπαρξη κάποιου σφάλματος που συμπεριλαμβάνει πάνω από δύο φάσεις σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις οδηγεί σε σημαντική πτώση τάσης σε όλους τους καταναλωτές (<80%), τέτοια ώστε να μην μπορεί να λειτουργεί κανείς κινητήρας.

Συγκρίνοντας επίσης τις διαφορές που προκύπτουν στην περίπτωση που το σφάλμα εφαρμόζεται στο φορτίο 1, με τη χρήση πυκνωτών και χωρίς βγαίνουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Όταν είναι τριφασικό προς γη δεν υπάρχει καμία διαφορά στις τιμές. Όταν είναι μονοφασικό προς γη έχουμε την κυριότερη διαφορά λόγω του ότι αυτή η περίπτωση μας ώθησε να εκτελέσουμε το πρόγραμμα χωρίς την χρήση πυκνωτών. Η διαφορά στις τιμές των τάσεων κυμαίνονται από 0,2 έως 0,3 για τη φάση Α και από 0,1 έως 0,2 για τις φάσεις Β και C. Στην μία φάση έχουμε μείωση της τάσης χωρίς πυκνωτές, ενώ στις άλλες δύο φάσεις έχουμε ανύψωση. Όταν το σφάλμα είναι διφασικό προς γη ή διφασικό, έχουμε μία μικρή διαφορά σε ορισμένες φάσεις κυρίως των γεννητριών της τάξεως του 0,05 έως και 0,15, γεγονός που δείχνει την μεγάλη επίδραση των χωρητικών αντιστάσεων στο υπό μελέτη κύκλωμα. Οι βυθίσεις επομένως των τάσεων εξαρτώνται ποιοτικά και ποσοτικά από την ύπαρξη ή μη των πυκνωτών στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε επίσης προσπάθεια μελέτης βραχυκυκλώματος του μοντελοποιημένου δικτύου με όλους ξεχωριστά τους κινητήρες, χωρίς δηλαδή την ισοδυναμία σύμφωνα με τον κανονισμό IEC-61363. Η μελέτη έγινε για την κατάσταση υπηρεσίας Sea Going και Cargo Unloading ενώ το βραχυκύκλωμα εφαρμόστηκε μόνο στον κύριο ζυγό των γεννητριών. Συνολικά οι κινητήρες που μπορούσε να δεχτεί το πρόγραμμα PSCAD ήταν στον αριθμό 19. Όλα τα δεδομένα ήταν τα ίδια με αυτά των ισοδύναμων κινητήρων και το μόνο που διαπιστώθηκε ήταν ότι υπήρχε ισοκατανομή της πτώσης τάσης σε όλους τους επιμέρους κινητήρες ,δηλαδή συμμετρική πτώση τάσης σε όλο το δίκτυο.

### 5.3. Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

Λόγω της πολυπλοκότητας ενός ΣΗΕ πλοίου κατά τη μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκαν κάποιες παραδοχές. Υπάρχει λοιπόν η δυνατότητα να μοντελοποιηθεί το ΣΗΕ με ακόμα μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

### Μοντελοποίηση των Ηλεκτρονικών Ισχύος.

Η σημαντικότερη παραδοχή είναι, ότι αμελήθηκαν τελείως τα Ηλεκτρονικά Ισχύος. Τα τελευταία χρόνια και ο μικρότερος κινητήρας ελέγχεται μέσω Ηλεκτρονικών Ισχύος και είναι προφανές πως οι ιδιότητές τους επηρεάζουν άμεσα την συμπεριφορά του κινητήρα. Για παράδειγμα στην περίπτωση του σύγχρονου προωστήριου κινητήρα πρέπει να διευκρινιστεί εάν ο Μετατροπέας που τον ελέγχει θα επιτρέψει τον κινητήρα να τροφοδοτήσει το σφάλμα. Αυτό εξαρτάται από το είδος του Μετατροπέα και τι προστασία έχει ο ίδιος. Από μόνη της, η μοντελοποίηση του συστήματος Μετατροπέα-Κινητήρα μπορεί κάλλιστα να αποτελέσει το θέμα κάποιας άλλης διπλωματικής.

### Μοντελοποίηση της δηζελομηχανής

Μία δεύτερη παραδοχή είναι, ότι δεν μοντελοποιήθηκε η δηζελομηχανή (Prime Mover) η οποία κινεί τις ηλεκτρογεννήτριες. Αντίθετα θεωρήθηκε, ότι η είσοδος της ροπής στις γεννήτριες έχει απλά μία σταθερή τιμή. Δηλαδή αμελήθηκε η δυναμική συμπεριφορά της δηζελομηχανής. Το 'EMTDC/PSCAD' δημιουργήθηκε έχοντας σαν βάση την ηλεκτροπαραγωγή στη ξηρά, για αυτό το λόγο περιέχει στη βιβλιοθήκη του έτοιμα μοντέλα υδροστροβίλων και ατμοστροβίλων συνοδευόμενα με τα κατάλληλα κυκλώματα ελέγχου. Σε αντίθεση δεν υπάρχει κάποιο είδος μοντέλου για δηζελομηχανή.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη, ότι στην πλειονότητά τους τα ΣΗΕ πλοίων χρησιμοποιούν σαν κινητήρια μηχανή τη δηζελομηχανή, είναι προφανής η αναγκαιότητα της μοντελοποίησης της. Επομένως, γνωρίζοντας πως η μοντελοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου είναι σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό ακριβής, είναι ανάγκη και η λεπτομερής μοντελοποίηση της δηζελομηχανής και του συστήματος ελέγχου της.

### Μοντελοποίηση DC-υποσυστημάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετάει δίκτυα αποκλειστικά Εναλλασσόμενου Ρεύματος. Όμως ένα ΣΗΕ πλοίου αποτελείται και από επιμέρους υποσυστήματα Συνεχούς Ρεύματος. Με Συνεχές Ρεύμα τροφοδοτούνται κυρίως

βοηθητικά κυκλώματα, αλλά συνάμα και ζωτικής σημασίας καταναλωτές, όπως ο φωτισμός ασφαλείας, οι τηλεπικοινωνίες και αρκετά οπλικά συστήματα. Ιδιαίτερα οι τηλεπικοινωνίες, αλλά και ορισμένα οπλικά συστήματα επηρεάζονται πολύ έντονα από τυχόν χαμηλής ποιότητας ηλεκτρική ενέργεια. Μπορούν να μελετηθούν πλήθος μεταβατικών φαινομένων, όπως για παράδειγμα η συμπεριφορά του υποσυστήματος σε τυχόν σφάλμα.

Ένα βασικό στοιχείο του DC-υποσυστήματος είναι ο ανορθωτής (AC/DC), ο οποίος παρεμβάλλεται μεταξύ του DC-υποσυστήματος και του κύριου AC-συστήματος. Παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη της εφαρμογής σφάλματος στους ακροδέκτες του ανορθωτή προς την πλευρά του DC-υποσυστήματος. Η συμπεριφορά των ηλεκτρονικών ισχύος κατά τη διάρκεια ταχέων μεταβατικών φαινομένων μπορεί να μελετηθεί με ακρίβεια χρησιμοποιώντας το 'PSCAD'. Η δυσκολία βρίσκεται στην ακριβή μοντελοποίηση του κυκλώματος ελέγχου του ανορθωτή.

#### Λεπτομερέστερη μοντελοποίηση των στοιχείων του ΣΗΕ.

Μια βασική παραδοχή που πραγματοποιήθηκε, είναι ότι δεν λήφθηκε υπόψη το φαινόμενο του μαγνητικού κορεσμού. Ο λόγος ήταν η έλλειψη στοιχείων από τους κατασκευαστές. Το 'EMTDC/PSCAD' δίνει την δυνατότητα, εφόσον υπάρχουν τα απαραίτητα στοιχεία, με εύχρηστο τρόπο να συμπεριληφθεί και ο κορεσμός.

Ένα ακόμα στοιχείο που επιδέχεται περαιτέρω βελτιώσεις είναι το κύκλωμα διέγερσης (Exciter) της γεννήτριας. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένος τύπος κυκλώματος διέγερσης και οι 'default' τιμές του. Πρέπει λοιπόν να εξεταστεί και η χρήση άλλου τύπου κυκλωμάτων διέγερσης με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά που να οδηγούν σε διαφορετική συμπεριφορά των γεννητριών.

Τέλος, θα πρέπει να γίνει επιβεβαίωση του μοντέλου με πειραματικά δεδομένα και σε περισσότερους τύπους πλοίων, με προσομοιώσεις ηλεκτρικών δικτύων, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μία γκάμα εφαρμογών και αποτελεσμάτων.

## Κεφάλαιο 6. Βιβλιογραφία

1. Σπαγκούρος Στυλιανός, (2002), “Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού και Λειτουργίας συστήματος πρόωσης με ηλεκτροκίνητους αζιμουθιακούς προωστήρες”, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π, Αθήνα.
2. Germanisher Lloyds, “Rules and Guidelines 2002”
3. Bollen M.H.J and Zhang L.D, “Different Methods for classification of three-phase unbalanced voltage dips due to faults”, Sweden.
4. International Standard ‘IEC 61363’ Part 1, “Procedures for calculating short-circuit currents in three-phase a.c”, First Edition 1998-02.
5. Προυσαλίδης Ι., “Ηλεκτροτεχνικές Εφαρμογές σε Περιβάλλον Η/Υ”, Σημειώσεις Εργαστηρίου, Ε.Μ.Π.