



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΕΞΟΜΟΙΩΤΗ Σ.Η.Ε.
ΠΛΟΙΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΠΥΘΑΡΟΥΛΗΣ

Επιβλέπων: Γεώργιος Κορρές

Καθηγητής Ε.Μ.Π



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

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΕΞΟΜΟΙΩΤΗ Σ.Η.Ε.
ΠΛΟΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΠΥΘΑΡΟΥΛΗΣ

Επιβλέπων: Γεώργιος Κορρές

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τηνΙουλίου 2017.

.....

Γεώργιος Κορρές

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Αντώνιος Κλαδάς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2017

.....
Εμμανουήλ Πυθαρούλης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Εμμανουήλ Πυθαρούλης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

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

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

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κύριο Ιωάννη Μ. Προυσαλίδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, καθώς και για τη στήριξη του αυτό το διάστημα. Η συνεργασία που είχα μαζί του ήταν εξαιρετική, όπως ακριβώς και η καθοδήγηση του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνεργάτη του κυρίου Προυσαλίδη, Στέφανο Ντάλλα για την καταλυτική βοήθεια του στο κομμάτι των προσομοιώσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου και όλα τα κοντινά μου άτομα που όλα αυτά τα χρόνια με στήριξαν και μου δίδαξαν πολλά πράγματα με τα οποία θα πορεύομαι στην ζωή μου. Χωρίς αυτούς δεν θα είχα καταφέρει αρκετά από αυτά που είμαι περήφανος σήμερα.

Εμμανουήλ Πυθαρούλης

Αθήνα, Ιούλιος 2017

Περίληψη

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας, αποτελούμενη από μια ιστορική αναδρομή του αντικειμένου της ποιότητας ισχύος φτάνοντας στο σήμερα και του σκοπού της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις ιδιαιτερότητες των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων. Σημεία αναφοράς του εν λόγω κεφαλαίου είναι η σύγκριση των ηλεκτρικών δικτύων της ξηράς με εκείνα των πλοίων, οι διαφοροποιήσεις στην δομή τους όπως και η κατανόηση των διαφορετικών αναγκών τους. Επίσης γίνεται εκτενής περιγραφή των κύριων συστημάτων πρόωσης που λαμβάνουν χώρα στα πλοία, ενώ επισημαίνονται και ορισμένα σύγχρονα συστήματα αποθήκευσης και βελτίωσης της ποιότητας ισχύος ακολουθούμενα από τις αντίστοιχες αρχές λειτουργίας τους.

Το τρίτο κεφάλαιο εμπεριέχει το θεωρητικό υπόβαθρο γνώσεων που αφορούν το αντικείμενο της ποιότητας ισχύος συμπεριλαμβανομένων των πιθανών κινδύνων που πιθανώς δημιουργούνται αλλά και των προηγμένων συστημάτων που έχουν ως σκοπό την αντιμετώπιση των παραπάνω κινδύνων. Αναλυτικά περιγράφονται και απεικονίζονται όλες οι πιθανές διαταραχές ποιότητας ισχύος που ενδέχεται να παρουσιάζονται σε κάποιο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παραθέτονται και αντίστοιχες κατηγοριοποιήσεις με βάση τα πρότυπα διεθνών οργανισμών.

Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελείται από τεχνικές και μεθόδους μετρήσεων ποιότητας ισχύος, μαζί με τα κυριότερα πρότυπα οργανισμών που υπαγορεύουν τους κανονισμούς που διεξάγονται οι αντίστοιχες μετρήσεις ρευμάτων και τάσεων. Η παραπάνω ανάλυση πραγματοποιείται τόσο σε θεωρητικό πλαίσιο με την παράθεση πινάκων όσο και σε πρακτικό με την επεξήγηση διαφόρων οργάνων που χρησιμοποιούνται.

Το πέμπτο κεφάλαιο έχει ως αντικείμενο την αρχιτεκτονική περιγραφή της εργαστηριακής διάταξης όπως είναι σήμερα. Υπάρχει λεπτομερής καταγραφή του γενικότερου κυκλώματος όπως και των επιμέρους στοιχείων που το απαρτίζουν με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά μεγέθη τους. Μαζί με τον τρόπο λειτουργίας της διάταξης προστέθηκαν εικόνες από το εργαστήριο για διευκόλυνση της κατανόησης. Επίσης καταγράφονται και λεπτομέρειες του συστήματος εποπτείας και διαχείρισης ισχύος SCADA όπως και του τρόπου λειτουργίας του. Τέλος, γίνεται εκτενής περιγραφή του τρόπου λειτουργίας της sag generator.

Το έκτο κεφάλαιο είναι το πειραματικό τμήμα της εργασίας. Παραθέτονται τα πρότυπα μέσω των οποίων προέκυψαν τα testing points που πραγματοποιήθηκαν με την sag generator όπως επίσης και η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση κάθε μέτρησης. Αναφορά γίνεται επίσης και στην αξιολόγηση των επιδόσεων της διάταξης μέσω τεσσάρων κλάσεων. Τέλος απεικονίζονται τα γραφικά αποτελέσματα όλων των μετρήσεων ακολουθούμενα από τον σχολιασμό τους.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται το κύκλωμα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν μέσω του εργαλείου της Matlab. Περιέχει αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας των επιμέρους τμημάτων και subsystem συνοδευόμενη με print screens εικόνες .

Τέλος παραθέτονται η προσομοιώσεις του κυκλώματος της Matlab και το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με έναν συγκριτικό σχολιασμό των πειραματικών μετρήσεων με τις προσομοιώσεις

Λέξεις κλειδιά: ποιότητα ισχύος, sag generator, Matlab/Simulink, βύθιση τάσης, ανύψωση τάσης

Abstract

Power quality constitutes a field of constantly increasing interest for electricity companies and end users. In this thesis, power quality events, variations and standards are examined. Specifically, emphasis is placed on the topics of ship installations and marine technology.

In addition, experimental tests are performed using an IPC sag generator device in a real experimental configuration and the respective results are presented and analyzed.

In the next stage, a simulation model is developed with the purpose of generating outcomes that approximate experimental measurements. The above model is designed using the graphical environment of Matlab Simulink and the simulation waveforms are quite satisfactory.

Furthermore, a detailed discussion on the comparison of experimental and stimulatory results takes place.

Finally, possibilities of future work are recorded.

Keywords: power quality, sag generator, Matlab/Simulink, voltage sag, voltage swell

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstract	6
Περιεχόμενα	8
Ευρετήριο Εικόνων	10
Ευρετήριο Πινάκων.....	14
Κεφάλαιο 1ο Εισαγωγή.....	15
Κεφάλαιο 2ο Ηλεκτρικά δίκτυα πλοίων	17
Ιδιαιτερότητες των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας στα πλοία	17
Περιγραφή των συστημάτων πρόωσης.....	17
Diesel – Electric	18
Σύστημα πρόωσης AC	22
Σύστημα πρόωσης DC.....	24
Προηγμένα συστήματα αποθήκευσης και βελτίωσης της ποιότητας ισχύος.....	25
Υπεραγωγίμη μαγνητική διάταξη αποθήκευσης ενέργειας (SMES)	25
Σφόνδυλος αποθήκευσης ενέργειας (Flywheel)	27
Κεφάλαιο 3ο Προσέγγιση της ποιότητας ισχύος.....	30
Σημασιολογία Ποιότητας Ισχύος	30
Διαταραχές ποιότητας ισχύος	31
Συμβάντα ποιότητας ισχύος	31
Διακυμάνσεις τάσης και ρεύματος.....	38
Κατηγοριοποίηση συμβάντων	45
Μέθοδοι αντιμετώπισης προβλημάτων ποιότητας ισχύος.....	48
Κεφάλαιο 4ο Μετρήσεις ποιότητας ισχύος πρότυπα και κανονισμοί.....	50
Μετρήσεις και Μετρητικά Συστήματα Ποιότητας Ισχύος.....	50
Μετρήσεις για την επίλυση προβλήματος Ποιότητας Ισχύος.....	50
Μετρήσεις μεγάλης διάρκειας με μόνιμα εγκατεστημένες μετρητικές συσκευές.....	52
Πρότυπα και κανονισμοί	53
Οργανισμοί που διαμορφώνουν τα πρότυπα	53

Πρότυπα μέτρησης	55
Πρότυπα προδιαγραφών και ορίων της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος	57
Πρότυπα ποιότητας τάσης.....	57
Πρότυπα ποιότητας ρεύματος.....	60
Κεφάλαιο 5ο Πειραματική διάταξη εργαστηρίου	64
Στοιχεία γενικής αρχιτεκτονικής.....	64
Διαχείριση ηλεκτρικής ισχύος, σύστημα ελέγχου EPMACS	68
Ανάλυση sag generator.....	71
Κεφάλαιο 6ο Πειραματικές μετρήσεις εργαστηριακής διάταξης	74
Πειραματική διαδικασία και μέθοδος μετρήσεων.....	74
Πειραματικές βυθίσεις	77
Πειραματικές ανυψώσεις	95
Σχολιασμός πειραματικών μετρήσεων.....	99
Κεφάλαιο 7ο Γραφικό περιβάλλον προσομοίωσης και αποτελέσματα.....	101
Κύκλωμα προσομοίωσης Matlab	101
Υποσύστημα προστασιών	102
Υποσύστημα sag generator.....	105
Υποσύστημα γεννητριών	107
Πειραματική διαδικασία και αποτελέσματα.....	108
Σχολιασμός προσομοιώσεων.....	147
Προεκτάσεις για μελλοντική έρευνα	149
Βιβλιογραφία	150

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Diesel-electric propulsion plant	18
Εικόνα 2:Απώλειες μετατροπής ενέργειας σε ένα σύστημα Diesel – Electric	20
Εικόνα 3:Σχηματική απεικόνιση συστήματος πρόωσης AC.....	23
Εικόνα 4:Σχηματικό διάγραμμα συστήματος αποθήκευσης SMES συζευγμένο με μοντέλο ανεμογεννήτριας	27
Εικόνα 5:Αρχή λειτουργίας του συστήματος Flywheel	28
Εικόνα 6:Σχηματικό διάγραμμα συστήματος αποθήκευσης FESS συζευγμένο με μοντέλο ανεμογεννήτριας	28
Εικόνα 7: Σχηματική απεικόνιση Διακοπής	32
Εικόνα 8: Voltage Sag Characteristics	34
Εικόνα 9: Sag and Swell graphs.....	36
Εικόνα 10 : Sag and Swell RMS graphs.....	36
Εικόνα 11: Impulse graph.....	37
Εικόνα 12: Oscillatory graph (a)	38
Εικόνα 13: Oscillatory graph (b).....	38
Εικόνα 14: Flicker graph.....	41
Εικόνα 15: notching graph (a)	42
Εικόνα 16: notching graph (b).....	42
Εικόνα 17: Voltage magnitude steps graph	43
Εικόνα 18: Current Distortion graph (a).....	44
Εικόνα 19: Current Distortion graph (b)	44
Εικόνα 20: Current Distortion graph (c).....	45
Εικόνα 21: Event Classification (a)	46
Εικόνα 22: Event Classification (b)	47
Εικόνα 23: Event Classification (c)	48
Εικόνα 24: Experimental Setup	64
Εικόνα 25: Electric Machinery.....	66
Εικόνα 26: Network & Protection	67
Εικόνα 27: Control Panel Unit.....	67
Εικόνα 28: Ethernet network	68
Εικόνα 29: SCADA Interface	70
Εικόνα 30: Sag Generator	71
Εικόνα 31: Sag Generator Connection (a).....	72
Εικόνα 32: Sag Generator Connection (b).....	72
Εικόνα 33: Sag Generator Connection (c)	73
Εικόνα 34: CBEMA Curve	75
Εικόνα 35: Source Voltages (30%Vn, 1Cycle, Experimental)	77

Εικόνα 36: Load Voltages (30%Vn, 1Cycle, Experimental).....	77
Εικόνα 37: Source Currents (30%Vn, 1Cycle, Experimental)	78
Εικόνα 38: Load Currents (30%Vn, 1Cycle, Experimental).....	78
Εικόνα 39: Source Voltages (40%Vn, 50msec, Experimental)	79
Εικόνα 40: Load Voltages (40%Vn, 50msec, Experimental).....	79
Εικόνα 41: Source Currents (40%Vn, 50msec, Experimental)	80
Εικόνα 42: Load Currents (40%Vn, 50msec, Experimental).....	80
Εικόνα 43: Source Voltages (60%Vn, 10cycles, Experimental)	81
Εικόνα 44: Load Voltages (60%Vn, 10cycles, Experimental)	81
Εικόνα 45: Source Currents (60%Vn, 10cycles, Experimental)	82
Εικόνα 46: Load Currents (60%Vn, 10cycles, Experimental)	82
Εικόνα 47: Source Voltages (60%Vn, 15cycles, Experimental)	83
Εικόνα 48: Load Voltages (60%Vn, 15cycles, Experimental)	83
Εικόνα 49: Source Currents (60%Vn, 15cycles, Experimental)	84
Εικόνα 50: Load Currents (60%Vn, 15cycles, Experimental)	84
Εικόνα 51: Source Voltages (60%Vn, 20cycles, Experimental)	85
Εικόνα 52: Load Voltages (60%Vn, 20cycles, Experimental)	85
Εικόνα 53: Source Currents (60%Vn, 20cycles, Experimental)	86
Εικόνα 54: Load Currents (60%Vn, 20cycles, Experimental)	86
Εικόνα 55: Source Voltages (70%Vn, 10cycles, Experimental)	87
Εικόνα 56: Load Voltages (70%Vn, 10cycles, Experimental)	87
Εικόνα 57: Source Currents (70%Vn, 10cycles, Experimental)	88
Εικόνα 58: Load Currents (70%Vn, 10cycles, Experimental)	88
Εικόνα 59: Source Voltages (70%Vn, 15cycles, Experimental)	89
Εικόνα 60: Load Voltages (70%Vn, 15cycles, Experimental)	89
Εικόνα 61: Source Currents (70%Vn, 15cycles, Experimental)	90
Εικόνα 62: Load Currents (70%Vn, 15cycles, Experimental)	90
Εικόνα 63: Source Voltages (70%Vn, 20cycles, Experimental)	91
Εικόνα 64: Load Voltages (70%Vn, 20cycles, Experimental)	91
Εικόνα 65: Source Currents (70%Vn, 20cycles, Experimental)	92
Εικόνα 66: Load Currents (70%Vn, 20cycles, Experimental)	92
Εικόνα 67: Source Voltages (87%Vn, 2sec, Experimental).....	93
Εικόνα 68: Load Voltages (87%Vn, 2sec, Experimental)	93
Εικόνα 69: Source Currents (87%Vn, 2sec, Experimental).....	94
Εικόνα 70: Load Currents (87%Vn, 2sec, Experimental).....	94
Εικόνα 71: Source Voltages (106%Vn, 2sec, Experimental).....	95
Εικόνα 72: Load Voltages (106%Vn, 2sec, Experimental).....	95
Εικόνα 73: Source Currents (106%Vn, 2sec, Experimental).....	96
Εικόνα 74: Load Currents (106%Vn, 2sec, Experimental).....	96
Εικόνα 75: Source Voltages (115%Vn, 13cycles, Experimental)	97
Εικόνα 76: Load Voltages (115%Vn, 13cycles, Experimental)	97
Εικόνα 77: Source Currents (115%Vn, 13cycles, Experimental)	98
Εικόνα 78: Load Currents (115%Vn, 13cycles, Experimental)	98

Εικόνα 79: Κύκλωμα Προσομοίωσης Matlab	101
Εικόνα 80: Data Workspace subsystem	102
Εικόνα 81: Scopes subsystem	102
Εικόνα 82: Relay Protection subsystem (a).....	103
Εικόνα 83: Relay Protection subsystem (b)	104
Εικόνα 84: Relay Protection subsystem (c).....	104
Εικόνα 85: Πίνακας αληθείας S-R Flip Flop.....	105
Εικόνα 86: Sag Generator subsystem	106
Εικόνα 87: Generators subsystem	107
Εικόνα 88: Source Voltages (30% Vn, 1cycle, Emulator)	109
Εικόνα 89: Load Voltages (30% Vn, 1cycle, Emulator)	109
Εικόνα 90: Source Currents (30% Vn, 1cycle, Emulator)	110
Εικόνα 91: Load Currents (30% Vn, 1cycle, Emulator).....	110
Εικόνα 92: Te (30% Vn, 1cycle, Emulator)	111
Εικόνα 93: Rotor Speed (30% Vn, 1cycle, Emulator)	111
Εικόνα 94: Is (30% Vn, 1cycle, Emulator).....	112
Εικόνα 95: Source Voltages (40% Vn, 50msec, Emulator)	112
Εικόνα 96: Load Voltages (40% Vn, 50msec, Emulator)	113
Εικόνα 97: Source Currents (40% Vn, 50msec, Emulator)	113
Εικόνα 98: Load Currents (40% Vn, 50msec, Emulator)	114
Εικόνα 99: Te (40% Vn, 50msec, Emulator)	114
Εικόνα 100: Rotor Speed (40% Vn, 50msec, Emulator)	115
Εικόνα 101: Is (40% Vn, 50msec, Emulator)	115
Εικόνα 102: Source Voltages (60% Vn, 10cycles, Emulator).....	116
Εικόνα 103: Load Voltages (60% Vn, 10cycles, Emulator)	116
Εικόνα 104: Source Currents (60% Vn, 10cycles, Emulator).....	117
Εικόνα 105: Load Currents (60% Vn, 10cycles, Emulator)	117
Εικόνα 106: Te (60% Vn, 10cycles, Emulator).....	118
Εικόνα 107: Rotor Speed (60% Vn, 10cycles, Emulator).....	118
Εικόνα 108: Is (60% Vn, 10cycles, Emulator)	119
Εικόνα 109: Source Voltages (60% Vn, 15cycles, Emulator).....	119
Εικόνα 110: Load Voltages (60% Vn, 15cycles, Emulator)	120
Εικόνα 111: Source Currents (60% Vn, 15cycles, Emulator).....	120
Εικόνα 112: Load Currents (60% Vn, 15cycles, Emulator)	121
Εικόνα 113: Te (60% Vn, 15cycles, Emulator).....	121
Εικόνα 114: Rotor Speed (60% Vn, 15cycles, Emulator).....	122
Εικόνα 115: Is (60% Vn, 15cycles, Emulator)	122
Εικόνα 116: Source Voltages (60% Vn, 20cycles, Emulator).....	123
Εικόνα 117: Load Voltages (60% Vn, 20cycles, Emulator)	123
Εικόνα 118: Source Currents (60% Vn, 20cycles, Emulator).....	124
Εικόνα 119: Load Currents (60% Vn, 20cycles, Emulator)	124
Εικόνα 120: Te (60% Vn, 20cycles, Emulator).....	125
Εικόνα 121: Rotor Speed (60% Vn, 20cycles, Emulator).....	125

Εικόνα 122: Is (60% Vn, 20cycles, Emulator)	126
Εικόνα 123: Source Voltages (70% Vn, 10cycles, Emulator)	126
Εικόνα 124: Load Voltages (70% Vn, 10cycles, Emulator)	127
Εικόνα 125: Source Currents (70% Vn, 10cycles, Emulator)	127
Εικόνα 126: Load Currents (70% Vn, 10cycles, Emulator)	128
Εικόνα 127: Te (70% Vn, 10cycles, Emulator)	128
Εικόνα 128: Rotor Speed (70% Vn, 10cycles, Emulator)	129
Εικόνα 129: Is (70% Vn, 10cycles, Emulator)	129
Εικόνα 130: Source Voltages (70% Vn, 15cycles, Emulator)	130
Εικόνα 131: Load Voltages (70% Vn, 15cycles, Emulator)	130
Εικόνα 132: Source Currents (70% Vn, 15cycles, Emulator)	131
Εικόνα 133: Load Currents (70% Vn, 15cycles, Emulator)	131
Εικόνα 134: Te (70% Vn, 15cycles, Emulator)	132
Εικόνα 135: Rotor Speed (70% Vn, 15cycles, Emulator)	132
Εικόνα 136: Is (70% Vn, 15cycles, Emulator)	133
Εικόνα 137: Source Voltages (70% Vn, 20cycles, Emulator)	133
Εικόνα 138: Load Voltages (70% Vn, 20cycles, Emulator)	134
Εικόνα 139: Source Currents (70% Vn, 20cycles, Emulator)	134
Εικόνα 140: Load Currents (70% Vn, 20cycles, Emulator)	135
Εικόνα 141: Te (70% Vn, 20cycles, Emulator)	135
Εικόνα 142: Rotor Speed (70% Vn, 20cycles, Emulator)	136
Εικόνα 143: Is (70% Vn, 20cycles, Emulator)	136
Εικόνα 144: Source Voltages (87% Vn, 2sec, Emulator)	137
Εικόνα 145: Load Voltages (87% Vn, 2sec, Emulator)	137
Εικόνα 146: Source Currents (87% Vn, 2sec, Emulator)	138
Εικόνα 147: Load Currents (87% Vn, 2sec, Emulator)	138
Εικόνα 148: Te (87% Vn, 2sec, Emulator)	139
Εικόνα 149: Rotor Speed (87% Vn, 2sec, Emulator)	139
Εικόνα 150: Is (87% Vn, 2sec, Emulator)	140
Εικόνα 151: Source Voltages (106% Vn, 2sec, Emulator)	140
Εικόνα 152: Load Voltages (106% Vn, 2sec, Emulator)	141
Εικόνα 153: Source Currents (106% Vn, 2sec, Emulator)	141
Εικόνα 154: Load Currents (106% Vn, 2sec, Emulator)	142
Εικόνα 155: Te (106% Vn, 2sec, Emulator)	142
Εικόνα 156: Rotor Speed (106% Vn, 2sec, Emulator)	143
Εικόνα 157: Is (106% Vn, 2sec, Emulator)	143
Εικόνα 158: Source Voltages (115% Vn, 13cycles, Emulator)	144
Εικόνα 159: Load Voltages (115% Vn, 13cycles, Emulator)	144
Εικόνα 160: Source Currents (115% Vn, 13cycles, Emulator)	145
Εικόνα 161: Load Currents (115% Vn, 13cycles, Emulator)	145
Εικόνα 162: Te (115% Vn, 13cycles, Emulator)	146
Εικόνα 163: Rotor Speed (115% Vn, 13cycles, Emulator)	146
Εικόνα 164: Is (115% Vn, 13cycles, Emulator)	147

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Specifications (a).....	57
Πίνακας 2: Specifications (b).....	59
Πίνακας 3: Specifications (c).....	59
Πίνακας 4: Specifications (d).....	61
Πίνακας 5: Specifications (e).....	62
Πίνακας 6: Specifications (f).....	63
Πίνακας 7: Experimental Specifications.....	65

Κεφάλαιο 1ο Εισαγωγή

Το γεγονός ότι η ποιότητα ισχύος αποτελεί τα τελευταία χρόνια αντικείμενο εκτενής μελέτης, δεν αναιρεί το ενδιαφέρον που υπήρχε για την περίπτωση της από πρότερα χρόνια. Μονάδες ανά τον κόσμο εργαζόντουσαν για δεκαετίες με σκοπό την βελτίωση του τομέα που είναι γνωστός σήμερα ως ποιότητα ισχύος. Η πρωταρχική αναφορά του όρου ποιότητα ισχύος συναντάται σε μια δημοσίευση ενός άρθρου που πραγματευόταν μελέτες τεχνικών προδιαγραφών του ναυτικού των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής αναφερόμενες σε ενεργειακές προαπαιτήσεις και ηλεκτρονικούς εξοπλισμούς. Η ημερομηνία ήταν Νοέμβρης του 1968 και ο συγγραφέας του άρθρου ήταν ο H.H. Kajihara. Χρονικά ακολούθησαν και άλλα επιστημονικά άρθρα που αναφερόντουσαν στην σχετική ορολογία έχοντας ως αποτέλεσμα η έννοια "high power quality" να αποτελεί έναν στόχο για την βιομηχανία των ενεργειακών συστημάτων του 1970, ο οποίος ήταν άμεσα συνυφασμένος με τους όρους "safety" (ασφάλεια), "reliability" (αξιοπιστία) και "low initial and operations costs" (χαμηλό αρχικό και λειτουργικό κόστος). Μια απλή μελέτη του πλήθους των δημοσιεύσεων που εμπεριείχαν τους όρους είτε ποιότητα ισχύος(power quality) είτε ποιότητα τάσης(voltage quality) ανά τα χρόνια είναι ιδιαίτερα ενδεικτική του αυξανόμενου ενδιαφέροντος που παρουσιάστηκε. Την χρονική περίοδο μεταξύ 1969-1984 είχαν καταγραφεί 155 περιπτώσεις επιστημονικών άρθρων ενώ το διάστημα 1985-1996 ο αντίστοιχος αριθμός ήταν 2051.

Πρακτικά ποτέ δεν υπήρξε ένας ξεκάθαρος ορισμός της ποιότητας ισχύος ο οποίος να είναι ευρέως διαδεδομένος. Διαφορετικοί άνθρωποι ερμηνεύουν τον όρο κάπως διαφορετικά, από τη δική τους οπτική γωνία. Όσοι ασχολούνται με την προστασία συστημάτων ταυτίζουν την ποιότητα ισχύος με την αξιοπιστία. Όσοι ασχολούνται με τον σχεδιασμό ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ταυτίζουν την ποιότητα ισχύος με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της τάσης του δικτύου όταν ο εξοπλισμός λειτουργεί κανονικά. Μία γενικώς αποδεκτή εκδοχή θα μπορούσε να είναι η εξής: *Η ποιότητα ισχύος αφορά την αλληλεπίδραση ανάμεσα στο ηλεκτρικό δίκτυο και τους πελάτες των εταιριών ηλεκτρισμού. Η αλληλεπίδραση είναι αμφίδρομη: το δίκτυο επηρεάζει τους πελάτες μέσω της παρεχόμενης τάσης ,και οι πελάτες επιδρούν στο δίκτυο μέσω του ρεύματος. Οι πελάτες μπορεί να είναι τελικοί καταναλωτές ,παραγωγοί ή και τα δύο. Ένα πρόβλημα στην ποιότητα ηλεκτρικής ισχύος υπάρχει , όταν διαταραχθεί η κυματομορφή της τάσης ,η κυματομορφή του ρεύματος ή η συχνότητα της τάσης.*

Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους το αντικείμενο της ποιότητας ισχύος έχει λάβει της σημερινές του διαστάσεις, χωρίς να είναι ξεκάθαρη η χρονική προτεραιότητά τους . Ο κυριότερος είναι το γεγονός ότι οι ηλεκτρικοί εξοπλισμοί (λαμβάνοντας υπόψη και την ραγδαία αύξηση της χρήσης ηλεκτρονικών ισχύος) παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις διαταραχές τάσεων. Ένας ιδιαίτερα καθοριστικός παράγοντας είναι το αναπτυσσόμενο ευρύ πλήθος προτύπων που καθορίζουν την σχέση μεταξύ παραγωγού και καταναλωτή στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα παλαιότερα χρόνια , οι μονάδες παραγωγής αντιλαμβάνονταν τους καταναλωτές αποκλειστικά ως "φορτία", σχέση η οποία την τελευταία δεκαετία έχει αναχθεί σε σύμβαση παραγωγού/καταναλωτή λόγω της θέσπισης αντίστοιχων προτύπων αλλά και της δημιουργίας της

έννοιας του ανταγωνισμού στις ενεργειακές ‘‘ συναλλαγές’’. Ένας ακόμη (περισσότερο πρακτικός) λόγος για την εξάπλωση του επιστημονικού πεδίου της ποιότητας ισχύος είναι πρόσβαση που υπάρχει πλέον στην ‘‘ μέτρηση’’ του αντικειμένου. Η δυνατότητα των μετρήσεων και της γραφικής απεικόνισης των τάσεων δεν θεωρούταν δεδομένη τις προηγούμενες δεκαετίες και κατά μία έννοια η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών συσκευών βοήθησε στην άνθηση του αντικειμένου.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διεκπεραίωση πειραματικών δοκιμών ποιότητας ισχύος σε εξοπλισμό εργαστηριακής διάταξης με χρήση συσκευής sag generator, στοχεύοντας στην εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την συμπεριφορά και τα όρια αντοχών της εν λόγω διάταξης. Επιπροσθέτως δημιουργήθηκε ένα γραφικό περιβάλλον το οποίο αφού υποβλήθηκε σε κατάλληλες προσομοιώσεις, διαπιστώθηκε ότι είναι μια ικανοποιητική προσέγγιση της πραγματικής διάταξης και παρέχει την δυνατότητα μελλοντικών διερευνήσεων σε θέματα πρόβλεψης και εξαγωγής έγκυρων αποκρίσεων.

Κεφάλαιο 2ο Ηλεκτρικά δίκτυα πλοίων

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.

Περιγραφή των συστημάτων πρόωσης

Στις ακόλουθες ενότητες θα γίνει παρουσίαση 4 διαφορετικών συστημάτων πρόωσης.

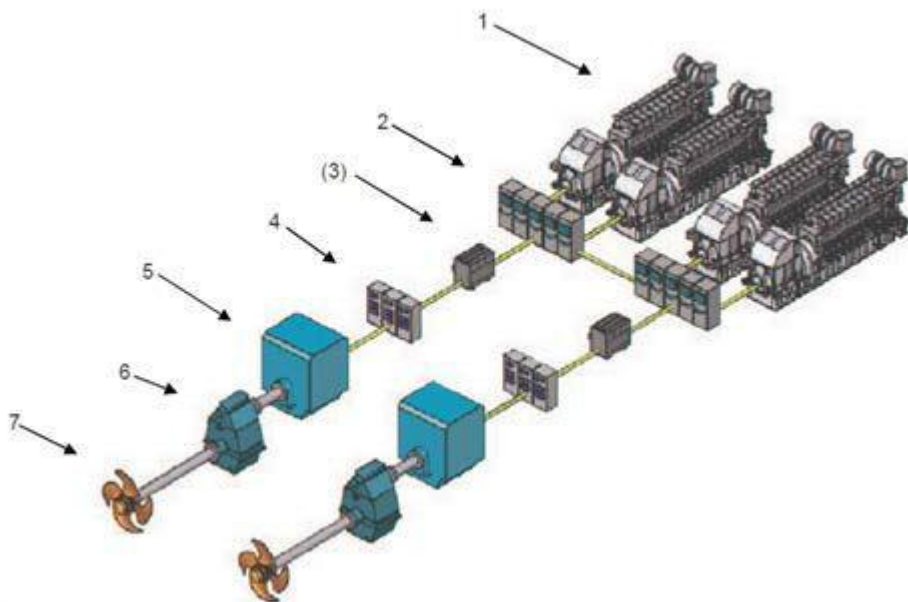
Γενικότερα, κάθε ένα από τα προτεινόμενα συστήματα ισχύος έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και είναι σχεδιασμένο για προκαθορισμένες συνθήκες για συγκεκριμένο τύπο πλοίου. Εξάλλου οι απαιτήσεις για ένα σύστημα εξαρτώνται άμεσα από τον τύπο του πλοίου, αν πρόκειται δηλαδή για μικρό γιότ είτε για μεταφορικό πλοίο μεγάλου όγκου. Οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος είναι η απόδοση (κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα μηχανικής ενέργειας), η δυνατότητα ελιγμών, η ταχύτητα του σκάφους και οι εν γένει καταναλώσεις ενέργειας του πλοίου.

Diesel – Electric

Γενικά στοιχεία

Η ηλεκτροπρόωση ενός πλοίου ορίζεται το είδος εκείνο της πρόωσης στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται απ' ευθείας (ή σπανιότερα μέσω μειωτήρων) από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από άλλες μηχανές όπως diesel, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους (MEK). Φυσικά οι MEK εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης, γνωστές και ως "prime movers" (κινητήριες μηχανές των ηλεκτρογεννητριών). Η προωστήρια εγκατάσταση συμπληρώνεται από κάποιο σύστημα ελέγχου για τον χειρισμό της, δηλαδή την κράτηση-εκκίνηση, την αυξομείωση στροφών και την αλλαγή φοράς περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων.

Η ηλεκτροπρόωση αρχικά εφαρμόστηκε με ηλεκτρικούς κινητήρες (συνεχούς ρεύματος), οι οποίοι είχαν και έχουν ακόμα ευρεία χρήση. Πλέον η ηλεκτροπρόωση εφαρμόζεται με σύγχρονους και ασύγχρονους κινητήρες, με τους πρώτους λειτουργούν με μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους δεύτερους (96 – 98% έναντι 92 – 95%). Ακόμα μεγαλύτερη απόδοση έχουν οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (πάνω από 98%) οι οποίοι αποτελούν μία καινούρια κατηγορία σύγχρονων κινητήρων. Η ευρεία ανάπτυξη και υιοθέτηση χρήσης των συστημάτων diesel – electric σε πλοία έγινε από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 με την έρευνα και αύξηση της διαθεσιμότητας προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος. Εξάλλου, σε αντίθεση με τα στατικά συστήματα παραγωγής ισχύος, τα συγκεκριμένα περιλαμβάνουν μεταβλητό φορτίο λόγω και της μεταβαλλόμενης ταχύτητας του πλοίου, αλλά και μεταβλητή συχνότητα λόγω της μεταβαλλόμενης ταχύτητας της έλικας. Με τη χρήση των ηλεκτρονικών ισχύος έγινε εφικτή η εγκατάσταση μετατροπέων συχνότητας, καθιστώντας πιο αποδοτική την μεταφορά ισχύος.



Εικόνα 1: Diesel-electric propulsion plant

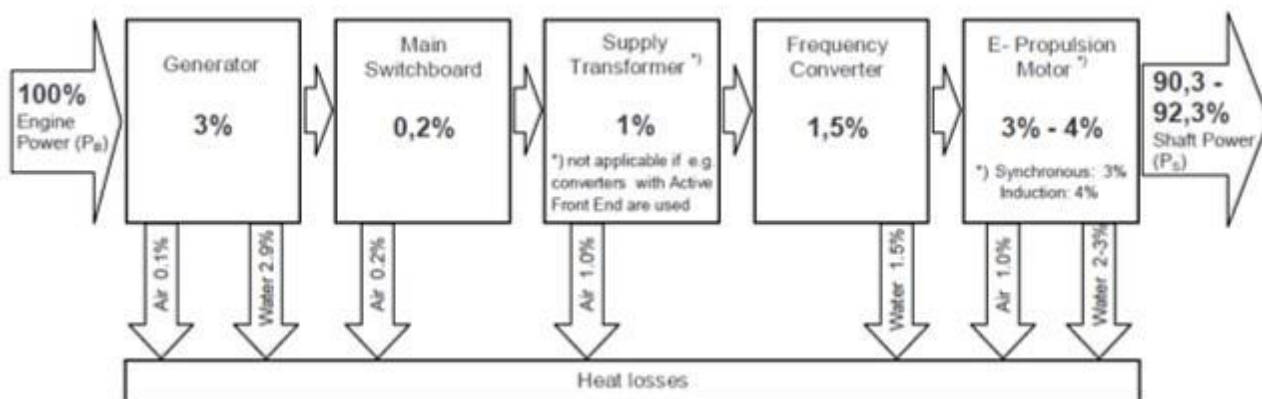
1	Κινητήρας Diesel – Εναλλακτήρας
2	Κύριος πίνακας διανομής
3	Μετατροπείς τροφοδοσίας (προαιρετικά): εξαρτάται από τον τύπο του Μ/Σ
4	Μετατροπείς συχνότητας / γρανάζια μεταβλητής ταχύτητας
5	Κινητήρες ηλεκτροπρόωσης
6	Μειωτήρας (προαιρετικά): εξαρτάται από την ταχύτητα των ηλεκτροκινητήρων πρόωσης
7	Σύστημα πρόωσης / Προπέλες

Στους σύγχρονους κινητήρες μόνιμων μαγνητών το τύλιγμα διέγερσης του δρομέα το οποίο διαρρέεται από συνεχές ρεύμα αντικαθίσταται από μόνιμους μαγνήτες οι οποίοι παράγουν το ίδιο μαγνητικό πεδίο που στρέφεται στο χώρο σύγχρονα με τον δρομέα. Για την ανάπτυξη αυτής της κατηγορίας κινητήρων σημαντικό ρόλο έπαιξε η τεχνολογική πρόοδος που κατέστησε δυνατή την κατασκευή κραμάτων "μόνιμων μαγνητών".

Άλλοι τύποι κινητήριων μηχανών είναι οι κινητήρες αξονικής ροής, στους οποίους η ωφέλιμη μαγνητική ροή είναι κατά την ακτινική διεύθυνση, δηλαδή όπως στις συνήθεις συμβατικές ηλεκτρικές μηχανές, οι πολυβάθμιοι κινητήρες εγκάρσιας ροής (transverse flux motors) και οι πολυβάθμιοι κινητήρες αξονικής ροής (axial flux motors). Οι πρώτοι έχουν μόνιμους μαγνήτες στο δρομέα, προσανατολισμένους κατά τέτοιο τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει μέσα στο διάκενο σε διεύθυνση εν μέρει κατά την αξονική διεύθυνση και κυρίως εγκάρσια προς τον άξονα της μηχανής ενώ οι δεύτεροι έχουν μόνιμους μαγνήτες στον δρομέα, προσανατολισμένους κατά

τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει σε διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα της μηχανής (αξονική).

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται όλες οι απώλειες που υπάρχουν σε ένα σύστημα Diesel – Electric.



Εικόνα 2:Απώλειες μετατροπής ενέργειας σε ένα σύστημα Diesel – Electric

Πλεονεκτήματα

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης, στα οποία οφείλεται και η διάδοσή της στις εφαρμογές που προαναφέρθηκαν, είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου.
- ✓ Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και δυναμικής τοποθέτησης του σκάφους.
- ✓ Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.
- ✓ Οικονομία καυσίμου, καθώς είναι δυνατή η επιλογή των μηχανών που θα λειτουργούν έτσι, ώστε η κάθε μια να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο.
- ✓ Ελευθερία στην τοποθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου.
- ✓ Πλήρης εκμετάλλευση της ροπής στρέψης σε όλο το φάσμα λειτουργίας.
- ✓ Ευκολία αυτοματισμού.
- ✓ Αυξημένη αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) και, επομένως, αυξημένη ασφάλεια.

- ✓ Περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων διότι:
 - α. η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, β. ιδιαίτερα οι εκπομπές NOx είναι αισθητά χαμηλότερες όταν, π.χ., ένας μεσόστροφος κινητήρας Diesel λειτουργεί με σταθερές στροφές, όπως συμβαίνει στα νέα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.
- ✓ Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενόπλοιων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος κατά τους χειρισμούς και τη δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.

Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος επένδυσης

Γίνεται η προσπάθεια να μειωθεί κατά το δυνατόν, αξιοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία των ηπειρωτικών ηλεκτρικών δικτύων (Commercial Off The Shelf – COTS), ωστόσο το υψηλό κόστος των κινητήρων και των διατάξεων ελέγχου τους δεν δείχνει να προσπερνιέται εύκολα.

- Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης

Αποτελεί πρόβλημα ειδικά σε σύγκριση με τα συμβατικά μηχανικά συστήματα. Π.χ., σε συμβατικό σύστημα κινητήρα Diesel με έλικα ρυθμιζόμενου βήματος, οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 4%: 2% στην έλικα και 2% στον μειωτήρα, όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας/βήματος. Σε εγκατάσταση πρόωσης Diesel - Electric, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7 - 8%: 3% στις γεννήτριες, 2% στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2 - 3% στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες. Επομένως, ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.

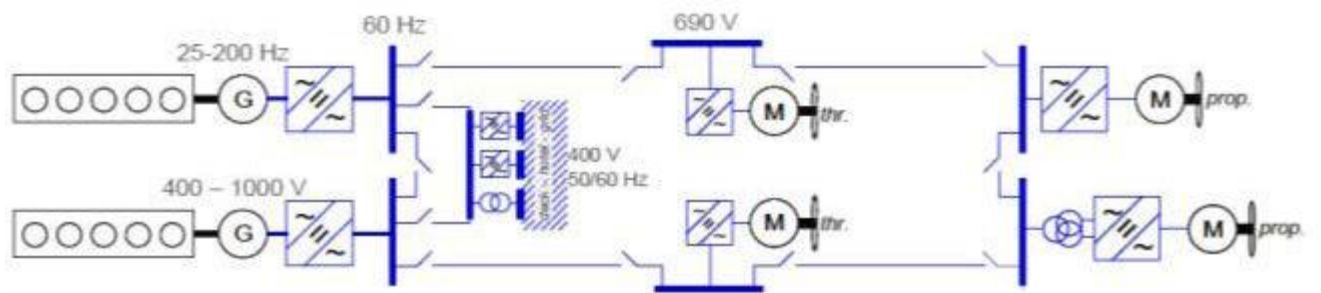
➤ Προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας

Ένα πρόβλημα που προκύπτει από την εκτεταμένη χρησιμοποίηση των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος είναι ότι εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος καθώς πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσεως. Οι αρμονικές αυτές αφενός προσαυξάνουν τη συνολική κυκλοφορούσα άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά επιπλέον δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Έτσι ο «ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος» που παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις –πρωτίστως τα κυκλώματα ελέγχου των ίδιων των ηλεκτρονικών ισχύος – ενώ σε περιπτώσεις στρατιωτικών εφαρμογών αυξάνει τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής των πλοίων. Τέλος, είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ιδιοσυχνότητες ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων, όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η σειρά αυτή των προβλημάτων λόγω της πλήρους μετατροπής σε εξηλεκτρισμένα συστήματα πλοίου αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες αναλύσεις και μελέτες κυρίως κατά της φάση της σχεδίασης τους ηλεκτρολογικού συστήματος.

Σύστημα πρόωσης AC

Στη σημερινή εποχή υπάρχει έντονη συζήτηση για την ανάγκη μείωσης των εκπομπών CO₂ και λοιπών αερίων. Προς αυτή την κατεύθυνση είναι και η εφαρμογή των ηλεκτροκινητήρων σε υβριδικά οχήματα αλλά και σε πλοία πιο πρόσφατα, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές αυτές λόγω της χαμηλότερης χρήσης ορυκτών καυσίμων. Η τάση αυτή ειδικά στα μεγάλα πλοία αναμένεται να επεκταθεί ακόμη περισσότερο. Τα συγκεκριμένα συστήματα συναντώνται ειδικά σε παγοθραυστικά ή σε ερευνητικά ωκεανογραφικά πλοία, ενώ έχουν υιοθετηθεί και για χρήση σε μεγάλα κρουαζιερόπλοια που δίνεται έμφαση στο κόστος αλλά και στην αθόρυβη λειτουργία.

Αν και οι πιο αποδοτικές εφαρμογές των συγκεκριμένων μηχανών είναι στην κλίμακα ισχύος 100 MW, οι πιο πρόσφατες έρευνες όμως στον τομέα εστιάζουν σε χαμηλότερα εύρη ισχύος της τάξεως των 10 MW. Ένα χαρακτηριστικό σύστημα πρόωσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.4. Το κύριο πλεονέκτημα της εν λόγω διάταξης είναι ότι δεν περιλαμβάνει επιπλέον μετατροπές ενέργειας, μειώνοντας έτσι τις απώλειες και μειώνοντας τον αριθμό των απαιτούμενων μετασχηματιστών σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα Diesel – Electric. Έτσι εξοικονομείται όγκος, μάζα και επιτυγχάνεται χαμηλότερο κόστος λειτουργίας του συστήματος, το οποίο συνδυάζεται με υψηλότερη απόδοση.



Εικόνα 3:Σχηματική απεικόνιση συστήματος πρόωσης AC

Γενικότερα όσον αφορά στις γεννήτριες τα δυο συστήματα είναι παρόμοια. Το συγκεκριμένο σύστημα προσφέρει καλύτερη κατανάλωση καυσίμου και ελευθερία κατά το σχεδιασμό του, μιας και δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη απαίτηση για διατήρηση συγκεκριμένης συχνότητας ή για τη διατήρηση της ονομαστικής τάσης προς τα τερματικά των γεννητριών. Το συγκεκριμένο σύστημα περιλαμβάνει μετατροπείς AC-DC-AC, ενώ στους μετατροπείς πλήρους ισχύος υπάρχει δυνατότητα διατήρησης σταθερής της τάσης AC στα τερματικά.

Πλεονεκτήματα

Υιοθετώντας ένα σύστημα πρόωσης AC έχει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως: Απλοποίηση του συστήματος πρόωσης, συμπεριλαμβανομένου του πολύπλοκου μειωτήρα που χρησιμοποιείται για την κίνηση του πλοίου.

- (1) Για περιπτώσεις πλοίων που καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, υπάρχει σημαντική μείωση στα οικονομικά κόστη συντήρησης και επισκευής κατά τη διάρκεια ζωής του μηχανών.
- (2) Ελαχιστοποίηση του θορύβου επί του πλοίου.
- (3) Βελτιωμένη απόδοση καυσίμου κατά τη διάρκεια ταξιδιών, λόγω της δυνατότητας συνεχούς διατήρησης της περιστροφικής ταχύτητας.

Μειονεκτήματα

Τα μειονεκτήματα των συγκεκριμένων είναι:

- ❖ Υψηλό αρχικό κόστος, ειδικά σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα πρόωσης που βασίζονται σε μηχανές εσωτερικής καύσης.

- ❖ Αυξημένες απώλειες μετατροπής ενέργειας
- ❖ Μεγαλύτερος όγκος συστήματος λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους των κύριων μερών του.

Σύστημα πρόωσης DC

Στην απλή μορφή του το DC δίκτυο επί του πλοίου είναι μια επέκταση των ήδη υπάρχοντων πολλαπλών DC συνδέσεων σε όλα τα συστήματα πρόωσης, το οποίο ικανοποιεί περισσότερο από 80% της ηλεκτρικής κατανάλωσης ισχύος σε πλοία ηλεκτροπρόωσης. Η επέκταση αυτή σημαίνει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όλα τα εξαρτήματα των υπάρχοντων ηλεκτρικών πλοίων, όπως γεννήτριες AC, αντιστροφείς, κινητήρες κ.λπ. Δεν απαιτούνται πλέον μετασχηματιστές και άρα το σύστημα ισχύος και πρόωσης είναι πιο ευέλικτο. Οι βασικές καινοτομίες του DC δικτύου επί του πλοίου είναι ο σχεδιασμός και ο έλεγχος του συστήματος προστασίας και η βελτιστοποιημένη ενεργειακή ροή.

Ο κυρίαρχος τύπος πρωτεύουσας ενέργειας για τις εγκαταστάσεις πρόωσης είναι η ηλεκτρική οδήγηση. Πρακτικά κάθε συσκευή πρόωσης που εγκαθίσταται σε νέα πλοία οδηγείται από ηλεκτρικό κινητήρα. Οι συσκευές οδήγησης που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι:

- DC μετατροπείς για κινητήρες DC,
- Κυκλομετατροπείς για AC κινητήρες, συνήθως για σύγχρονους κινητήρες,
- Αντιστροφείς πηγής ρεύματος για AC κινητήρες (σύγχρονοι κινητήρες),
- Αντιστροφείς πηγής τάσης για AC κινητήρες, δηλ. ασύγχρονους, σύγχρονους και κινητήρες μόνιμων μαγνητών.

Πλεονεκτήματα

- Έως 20% εξοικονόμηση καυσίμου αν αξιοποιηθούν πλήρως όλες οι δυνατότητες, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής αποθήκευσης και των μηχανών μεταβλητής ταχύτητας.
- Μειωμένες ανάγκες συντήρησης για πιο αποδοτική λειτουργία
- Βελτιωμένη δυναμική απόκριση, κάνοντας χρήση της αποθήκευσης ενέργειας, πράγμα το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη απόδοση του συστήματος με χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου.
- Πιο ευέλικτη τοποθέτηση των ηλεκτρικών συνιστωσών.
- Διαθέτει πλατφόρμα συστήματος που μπορεί να υποστηρίξει δυνατότητες αναδιάταξης για να προσαρμοστεί σε μελλοντικές πηγές ενέργειας.

- Προστασία και ασφάλεια. Η φιλοσοφία της προστασίας βασίζεται στο συνδυασμό ασφαλειών τήξης και ελεγχόμενων διακοπών. Εν συντομία, οι ασφάλειες τήξης είναι εξαιρετικά ταχείες και χρησιμοποιούνται για την απομόνωση των αντιστροφών, σε περιπτώσεις σοβαρούς σφάλματος.

Μειονεκτήματα

- Πρόωση: Κύριος ή βοηθητικός κινητήρας πρόωσης στην εκκίνηση και στη λειτουργία σταθερής κατάστασης σε σύζευξη με τα ηλεκτρονικά μετατροπής ισχύος.
- Μεταβαλλόμενες υπερτάσεις και υπερρεύματα.
- Αρμονικές παραμορφώσεις που εισάγονται από τη χρήση συσκευών ηλεκτρονικών ισχύος.

Προηγμένα συστήματα αποθήκευσης και βελτίωσης της ποιότητας ισχύος

Υπεραγώγιμη μαγνητική διάταξη αποθήκευσης ενέργειας (SMES)

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αποθηκεύεται η περίσσεια ενέργειας κατά τις ώρες όπου δεν υπάρχει αιχμή ζήτησης. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, παρουσιάζεται περίσσεια ενέργειας η οποία μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες. Η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδρογόνου, μέσω ηλεκτρόλυσης, ενώ υπό άλλες συνθήκες, απλώς καταστρέφεται. Το υδρογόνο μπορεί να συμπιεστεί και να διανεμηθεί με δεξαμενές, είτε να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου.

Μια άλλη δυνατότητα είναι η υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (SMES), η οποία αποθηκεύει ενέργεια σε μορφή μαγνητικού πεδίου, το οποίο δημιουργείται από τη ροή συνεχούς ρεύματος σε ένα υπεραγώγιμο πηνίο. Το πηνίο αυτό βυθίζεται σε υγρό ήλιο και η θερμοκρασία του μειώνεται με κρυογονικές μεθόδους κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία υπεραγωγής. Η λειτουργία αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί για να βελτιώσει την ποιότητα ισχύος σε κρίσιμα φορτία, παρέχοντας ενέργεια κατά τη διάρκεια των βυθίσεων τάσης και των στιγμιαίων διακοπών ισχύος στο σύστημα. Έτσι σταθεροποιείται η ισχύς του δικτύου και άρα αποφεύγονται οι διακυμάνσεις φορτίου. Η απόκρισή του στις μεταβολές της ισχύος είναι ακαριαία και έχει απεριόριστους κύκλους επαναφόρτισης. Τέτοια εγκατάσταση υπάρχει στις Η.Π.Α. και έχει δυνατότητα αποθήκευσης 30 MJ, με σκοπό να παρέχει έλεγχο συχνότητας κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς στη δυτική ακτή. Τέτοια εγκατάσταση υπάρχει επίσης στην Ιαπωνία, η οποία μετρά τη σταθερότητα της γραμμής μεταφοράς.

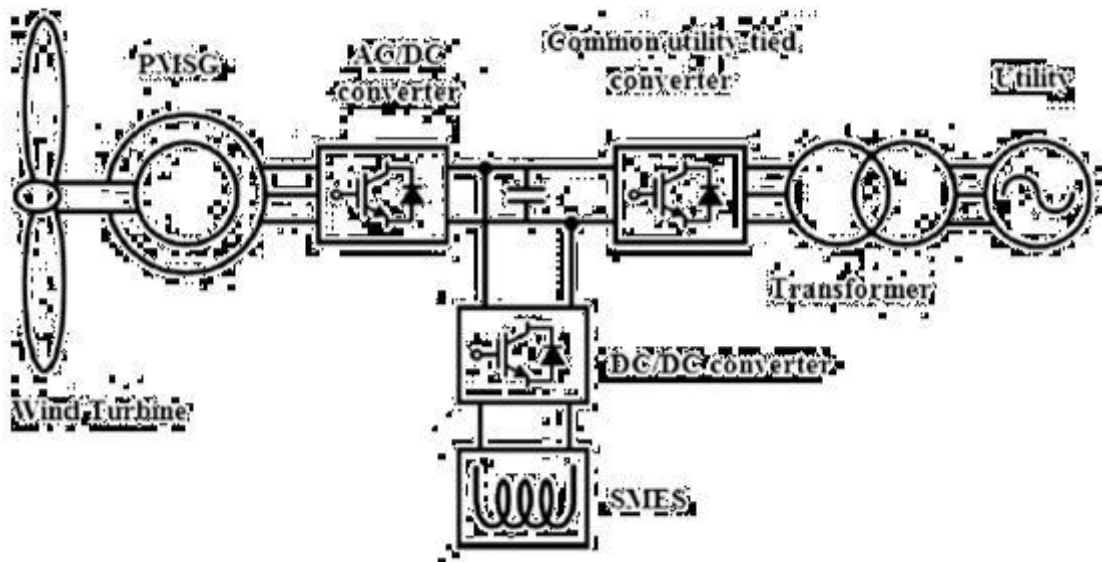
Το σύστημα SMES μπορεί να φορτίσει και να εκφορτίσει ισχύ έχοντας γρήγορη απόκριση ώστε να αποθηκεύσει ενεργό ισχύ, αλλά και να παρέχει άεργο ισχύ, με στόχο τη μείωση της διακύμανσης τάσης που βασίζεται στη μεταβολή του φορτίου στο σύστημα. Αυτό το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αποτελείται από ένα υπεραγώγιμο πηνίο, το κρυογονικό σύστημα και ένα

σύστημα ρύθμισης της ισχύος. Ένα από τα μειονεκτήματα του είναι το μεγάλο κόστος εγκατάστασης του.

Το πηνίο είναι το κύριο μέρος ενός συστήματος SMES το οποίο μπορεί να απορροφά και να απελευθερώνει ισχύ με βάση τη ζήτηση ισχύος. Οι δύο τύποι πηνίου που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το τοροειδές και το σωληνοειδές. Συγκεκριμένα, τα τοροειδή πηνία χρησιμοποιούνται σε αποθήκευση μικρής και μεσαίας κλίμακας, ενώ τα σωληνοειδή σε μεγάλης κλίμακας. Το πηνίο συνδέεται σε ένα σύστημα μετατροπής ισχύος. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα σύστημα ελέγχου το οποίο ελέγχει τη ροή ρεύματος από και προς τη DC γραμμή. Το πηνίο αρχίζει τη φόρτιση κάθε φορά που η ισχύς εξόδου του ανορθωτή υπερβαίνει την ισχύ αναφοράς και το πηνίο θα εκφορτίζεται όταν η ισχύς εξόδου του ανορθωτή είναι μικρότερη από την ισχύ αναφοράς. Το ρεύμα που απαιτείται για τη φόρτιση και την εκφόρτιση του πηνίου είναι αντιστρόφως ανάλογο της τάσης κατά μήκος του πηνίου κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης. Αυτό φαίνεται στη πρώτη σχέση, όπου το I_s είναι το κρίσιμο ρεύμα και P_o είναι η σταθερή παραγόμενη ενέργεια όταν το συνεχές ρεύμα πλησιάζει την κρίσιμη τιμή. Το ρεύμα θα εκφορτίζεται έως ότου φτάσει σε μια κρίσιμη τιμή. Τότε, το σύστημα δε θα εκφορτιστεί περαιτέρω και η παραγόμενη ισχύς είναι σε απόκριση σταθερής κατάστασης. Το ποσό της ενέργειας που αποθηκεύεται στο πηνίο, E_{SMES} , είναι ευθέως ανάλογο του ρεύματος DC, όπου L είναι η αυτεπαγωγή του πηνίου.

$$I_s = \frac{P_o}{V} \quad (2.1)$$

$$E_{SMES} = L \frac{I^2}{2} \quad (2.2)$$



Εικόνα 4: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος αποθήκευσης SMES συζευγμένο με μοντέλο ανεμογεννήτριας

Καθώς η περίσσεια συνεχούς ρεύματος περνά από το υπεραγωγικό πηνίο, η θερμοκρασία του πηνίου αυξάνεται, αλλά η θερμοκρασία μπορεί να διατηρηθεί χαμηλή χρησιμοποιώντας ένα θερμικό περίβλημα ή υγρό ήλιο. Ένα κρυογονικό σύστημα διατηρεί την απαιτούμενη θερμοκρασία και βελτιώνει την απόδοση της υπεραγωγής.

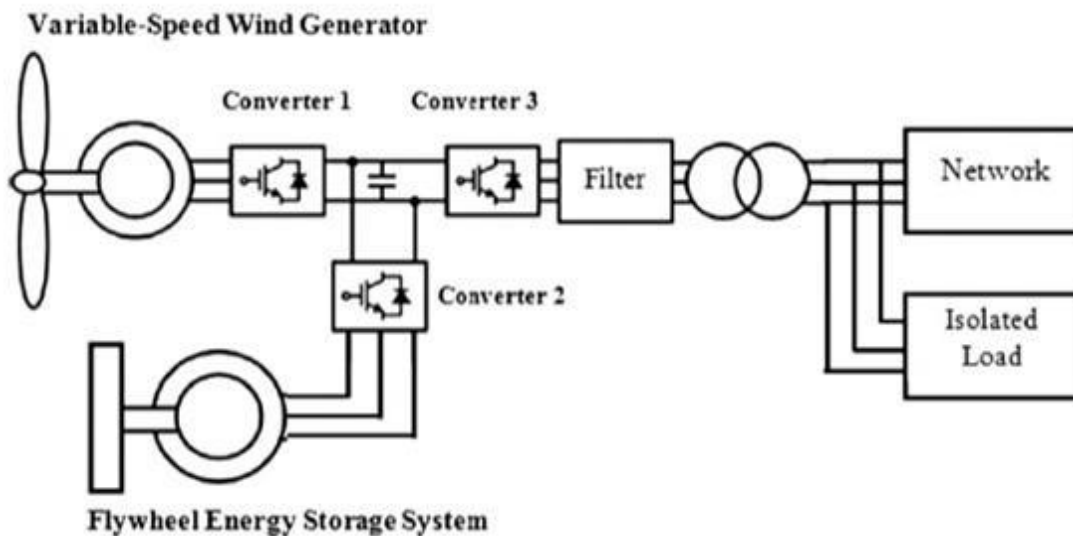
Το σύστημα ρύθμισης ισχύος αποτελείται από 12 γέφυρες διαδοχικών παλμών μετατροπών DC/AC ή μετατροπών DC/AC. Ο αντιστροφέας θα προκαλέσει απώλειες προς κάθε κατεύθυνση, αλλά οι απώλειες αυτές μπορεί να μειωθούν συνδέοντας το σύστημα SMES απευθείας στη γραμμή DC. Άρα, ελέγχοντας το μετατροπέα DC/DC η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί απευθείας στο σύστημα του δικτύου.

Σφόνδυλος αποθήκευσης ενέργειας (Flywheel)

Το Flywheel λειτουργεί ως σύστημα αύξησης της απόδοσης του ηλεκτρικού δικτύου, καθώς μέσω ενός κινητήρα μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της περιστροφής ενός σφονδύλου, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με γεννήτρια και η οποία μετατρέπει ξανά την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική, όποτε απαιτείται. Το σύστημα αυτό, σε συνδυασμό με σύγχρονα ηλεκτρονικά ισχύος, παρέχει αποτελεσματική ρύθμιση τάσης και συχνότητας της ισχύος εξόδου.



Εικόνα 5: Αρχή λειτουργίας του συστήματος Flywheel



Εικόνα 6: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος αποθήκευσης FESS συζευγμένο με μοντέλο ανεμογεννήτριας

Με βάση την παραπάνω εικόνα κατά τη διάρκεια της φάσης φόρτισης, ο μετατροπέας 3 λειτουργεί ως ανορθωτής ενώ ο μετατροπέας 2 λειτουργεί ως αντιστροφέας. Κατά τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική, η ηλεκτρική μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας που απορροφά ηλεκτρική ενέργεια επιταχύνοντας τον άξονα. Ο ρότορας χρησιμοποιείται για να επιταχύνει τον άξονα έως ότου φτάσει σε επαρκή ταχύτητα περιστροφής. Όταν ο ρότορας είναι κατασκευασμένος από ανθρακονήματα η ταχύτητα περιστροφής του μπορεί να φτάσει τα 100000 rpm, ενώ όταν είναι κατασκευασμένος από χάλυβα φτάνει στα 10000 rpm.

Όταν επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα, ο άξονας αποσυνδέεται αλλά συνεχίζει να περιστρέφεται λόγω της αδράνειας του σφονδύλου. Η περιστροφή αυτή δείχνει ότι η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται πλήρως σε κινητική, η οποία αποθηκεύεται στην περιστρεφόμενη μάζα. Το σύστημα πρέπει να τοποθετείται σε περίβλημα κενού ώστε να ελαχιστοποιούνται οι τριβές λόγω του αέρα. Κατά την αποφόρτιση της ενέργειας της περιστρεφόμενης μάζας, ο κινούμενος άξονας θα παράξει ροπή για να κινήσει την ηλεκτρική μηχανή, η οποία τώρα λειτουργεί ως γεννήτρια. Στη λειτουργία αυτή, ο μετατροπέας 2 λειτουργεί ως ανορθωτής και ο μετατροπέας 3 ως

αντιστροφάς. Η ροή της ενέργειας είναι συνεχής, διότι έχει αποθηκευτεί σε μηχανική και όχι σε χημική μορφή.

Κεφάλαιο 3ο Προσέγγιση της ποιότητας ισχύος

Σημασιολογία Ποιότητας Ισχύος

Ο όρος ποιότητα ισχύος αναφέρεται σε ένα ευρύ πλήθος ηλεκτρομαγνητικών γεγονότων τα οποία λαμβάνουν χώρα σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ). Πρακτικά εμπεριέχει οποιαδήποτε απόκλιση σε σχέση με την ιδανική κυματομορφή, είτε της τάσης (voltage quality), είτε του ρεύματος (current quality). Οι παραπάνω αποκλίσεις είναι γνωστές ως φαινόμενα ποιότητας ισχύος αλλά και ως διαταραχές ποιότητας ισχύος. Αποτελεί ένα ζήτημα με συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις εταιρείες παραγωγής ηλεκτρισμού, για τους κατασκευαστές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και για τους καταναλωτές. Οι κυριότεροι λόγοι που καθιστούν την ποιότητα ισχύος ιδιαίτερως σημαντική είναι οι ακόλουθοι:

- η αυξανόμενη χρήση συσκευών που εμπεριέχουν ηλεκτρονικά ισχύος και είναι ευαίσθητες αλλά και δημιουργούν διαταραχές,
- ο ανταγωνισμός που επέφερε η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας,
- και οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις του συστήματος σε αξιοπιστία.

Τόσο η ποιότητα της τάσης που παρέχεται από το δίκτυο καθώς και η ποιότητα ρεύματος στην οποία επιδρούν οι καταναλωτές συνιστούν παράγοντες που επηρεάζουν την κανονική λειτουργία του συστήματος και έχουν μεγάλη οικονομική σημασία. Οι εταιρίες ηλεκτρισμού σε όλο τον κόσμο καλούνται να αποδείξουν ότι η παρεχόμενη ισχύς ικανοποιεί τις προϋποθέσεις εκείνες που εγγυώνται την λειτουργία των πελατών-φορτίων τους χωρίς προβλήματα. Παράλληλα οι καταναλωτές προσπαθούν να εξασφαλίσουν τις καλύτερες συνθήκες για τα φορτία τους ώστε να περιορίσουν οικονομικές απώλειες που προκαλούνται από προβλήματα στην παροχή ηλεκτρική ισχύος.

Μεγάλος αριθμός μετρητικών συσκευών εγκαθίσταται στο δίκτυο προκειμένου να καταγράψουν τις διάφορες παραμέτρους της ποιότητας ισχύος, ώστε να εντοπισθούν τα προβλήματα και να συλλεγούν οι κατάλληλες πληροφορίες για την λύση τους. Τα οφέλη από τις μετρήσεις είναι πολλαπλά καθώς αυξάνουν την γνώση μας για την λειτουργία του συστήματος. Επίσης, συντάσσονται προδιαγραφές από τους αρμόδιους οργανισμούς και λειτουργούν προς το παρόν ως προτεινόμενα όρια. Η πρόβλεψη πάντως είναι ότι στο άμεσο μέλλον θα ισχύσουν ως δεσμευτικοί περιορισμοί για όλους τους εμπλεκόμενους με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Για να λειτουργεί το ηλεκτρικό σύστημα αδιάκοπα και για να εξασφαλίζεται η βέλτιστη οικονομική λειτουργία του, απαιτείται να ρυθμίζονται συνεχώς παράμετροι όπως είναι η ισχύς, η τάση και η συχνότητα του δικτύου.

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 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 τόσο για τα προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν όσο και για την, κατά το δυνατόν, βέλτιστη αντιμετώπισή τους.

Διαταραχές ποιότητας ισχύος

Οι διαταραχές της ποιότητας ισχύος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : διακυμάνσεις και συμβάντα. Η διακύμανση είναι μια μικρή απόκλιση από την ημιτονοειδή κυματομορφή και συμβαίνει στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.

Το συμβάν είναι μια μεγάλη απόκλιση, παρατηρείται όταν το μετρούμενο μέγεθος ξεπεράσει κάποιο όριο και συμβαίνει κατά τη διάρκεια μεταβατικών καταστάσεων ή σφαλμάτων.

Συμβάντα ποιότητας ισχύος

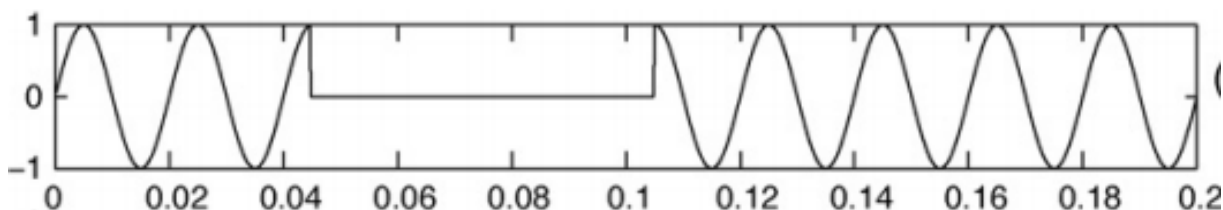
1. Διακοπές (Interruptions)

Μια διακοπή της τάσης "voltage interruption" (IEEE Std 1159) , διακοπή τροφοδοσίας "supply interruption" (EN 50160) ή απλά διακοπή "interruption" (IEEE Std 1250) είναι μια κατάσταση κατά την οποία η τάση τροφοδοσίας προσεγγίζει την τιμή μηδέν. "Προσεγγίζει το μηδέν" κατά τα πρότυπα IEC μεταφράζεται σε τιμή μικρότερη του 1% της διαφανόμενης τάσης, ενώ κατά την IEEE μικρότερο του 10% (IEEE Std 1159).

Κατά κανόνα οι διακοπές οφείλονται σε σφάλματα που προέρχονται από στοιχεία προστασίας. Μια άλλη περίπτωση κατά την οποία παρουσιάζονται διακοπές είναι όταν ενεργοποιούνται διαδικασίες προστασίας χωρίς να εμφανίζεται κάποιο σφάλμα (protection mailtrip). Οι διακοπές μικρής διάρκειας προέρχονται από την λειτουργία επανακλειόμενων διακοπτών (reclosers) και επαναφορά του δικτύου μετά από σφάλμα. Η διαδικασία αυτή είναι συνηθισμένη σε δίκτυα διανομής και εφαρμόζεται διότι μεγάλο ποσοστό των σφαλμάτων δεν είναι μόνιμα και εξαλείφονται μετά την λειτουργία του συστήματος προστασίας. Οι διακοπές μπορούν να θεωρηθούν ειδική περίπτωση βυθίσεων τάσης (όπου η τάση γίνεται μηδέν) και όσον αφορά την επίδραση τους στα φορτία ισχύει ότι και για την επίδραση των βυθίσεων τάσης.

Σημαντική είναι και η διαχώριση μιας διακοπής ανάλογα με το εάν είναι προκαθορισμένη ή τυχαία. Η πρώτη κατηγορία διακοπής συμβαίνει προφανώς από παρέμβαση χειρισμού συνεπώς μέσω του ανθρώπινου παράγοντα και για τον λόγο αυτό μπορεί να είναι προβλεπόμενη με απώτερο σκοπό να παρθούν προληπτικά μέτρα. Μια σημαντική παράμετρος που επίσης βοηθάει στην κατηγοριοποίηση μιας διακοπής είναι η διάρκεια της. Κατά τα πρότυπα IEC , μια διακοπή είναι μεγάλης διάρκειας (long

interruption) όταν η διάρκεια της είναι πάνω από 3 λεπτά. Οποιαδήποτε διακοπή διάρκειας μικρότερης των 3 λεπτών θεωρείται μικρής διάρκειας (short interruption). Γραφικά οι διακοπές αναπαριστούνται με αυτόν τον τρόπο:



Εικόνα 7: Σχηματική απεικόνιση Διακοπής

2. Υποτάσεις (*Undervoltages*)

Οι υποτάσεις ως φαινόμενα, ανάλογα με την διάρκειά τους, είναι γνωστές με διάφορους όρους. Μικρής διάρκειας υποτάσεις αποκαλούνται βυθίσεις (voltage sag/voltage dips). Οι προηγούμενοι όροι αναγράφονται στα πρότυπα IEC. Με βάση την IEEE, όπως και στα περισσότερα επιστημονικά άρθρα που αφορούν το κομμάτι της ποιότητας ισχύος, χρησιμοποιείται ο όρος βύθιση (voltage sag). Μεγάλης διάρκειας υποτάσεις αναφέρονται απλά ως υποτάσεις (undervoltage). Ως βύθιση τάσης αναφερόμαστε στο φαινόμενο της μείωσης του μεγέθους και της ενεργούς τιμής της τάσης, η οποία ακολουθείται από μια αντίστοιχη επαναφορά της, ύστερα από το πέρας μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Με βάση τα πρότυπα IEC, βύθιση της τάσης ορίζεται η ξαφνική μείωση της τάσης μεταξύ 90% και 1% της ονομαστικής της τιμής με διάρκεια μεταξύ 10ms και 1 min. Με βάση την IEEE, μια βύθιση είναι η μείωση της τάσης στο διάστημα 90% και 10% της ονομαστικής. Οι βυθίσεις τάσεων δημιουργούνται λόγω σφαλμάτων στο δίκτυο ή λόγω της σύνδεσης μεγάλων κινητήρων. Βύθιση της τάσης παρατηρείται επίσης και κατά τη λειτουργία ενός μετασχηματιστή στην περιοχή κορεσμού της καμπύλης λειτουργίας του, λόγω των μεγάλων ασύμμετρων ρευμάτων που προκαλούνται κατά την ενεργοποίησή του.

Το ενδιαφέρον γύρω από τις βυθίσεις τάσεις εστιάζεται κυρίως στα προβλήματα τα οποία δημιουργούν σε μεγάλο αριθμό συσκευών. Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας (adjustable speed drives), συστήματα ελέγχου (PLC, RTU) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα. Κάποιες συσκευές δεν μπορούν να αντέξουν τάση κάτω από 90% της ονομαστικής για 1 ή 2 κύκλους. Πολλές ηλεκτρονικές συσκευές και κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας δεν λειτουργούν σωστά για βυθίσεις τάσης κάτω από 70% για περισσότερο από 100 msec (5 κύκλοι). Για τους επαγωγικούς κινητήρες κατά την διάρκεια της πτώσης τάσης μειώνεται ο αριθμός των στροφών τους και τροφοδοτούνται με μεγαλύτερο ρεύμα. Εάν η βύθιση τάσης διαρκέσει αρκετά, τότε ενδέχεται να φτάσουν σε ένα σημείο όπου σταματούν να λειτουργούν (stalling). Οι αλλαγές αυτές στο ρεύμα αλλά και στην ροπή του κινητήρα ενδέχεται να οδηγήσουν σε λειτουργία της προστασίας του και τελικά ο κινητήρας να αποσυνδεθεί. Επίσης, κατά την επαναφορά της τάσης ο

κινητήρας καταναλώνει μεγάλα ρεύματα μειώνοντας έτσι την τάση. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε βιομηχανίες με πολλούς κινητήρες.

Οι κύριοι παράμετροι μιας βύθισης είναι οι εξής:

1) Πλάτος (*magnitude*)

Είναι η χαμηλότερη RMS τιμή της τάσης κατά την διάρκεια μιας βύθισης.

2) Διάρκεια (*duration*)

Η χρονική περίοδος κατά την οποία η RMS τιμή της τάσης βρίσκεται κάτω από 0,9 p.u.

3) Μεταπήδηση φάσης (*Phase-angle jump*)

Η διαφορά φάσης της τάσης κατά την διάρκεια του συμβάντος σε σχέση με την αντίστοιχη πριν το συμβάν.

4) Μορφή (*shape*)

Περιγράφει την "συμπεριφορά" της RMS τάσης κατά την διάρκεια του συμβάντος. Ανάλογα με την μορφή τους, οι βυθίσεις διακρίνονται σε ορθογωνικές (rectangular) και μη ορθογωνικές (non- rectangular). Η πρώτη κατηγορία χαρακτηρίζεται από RMS τάση σταθερή, ενώ η δεύτερη από χρονικά μεταβαλλόμενη.

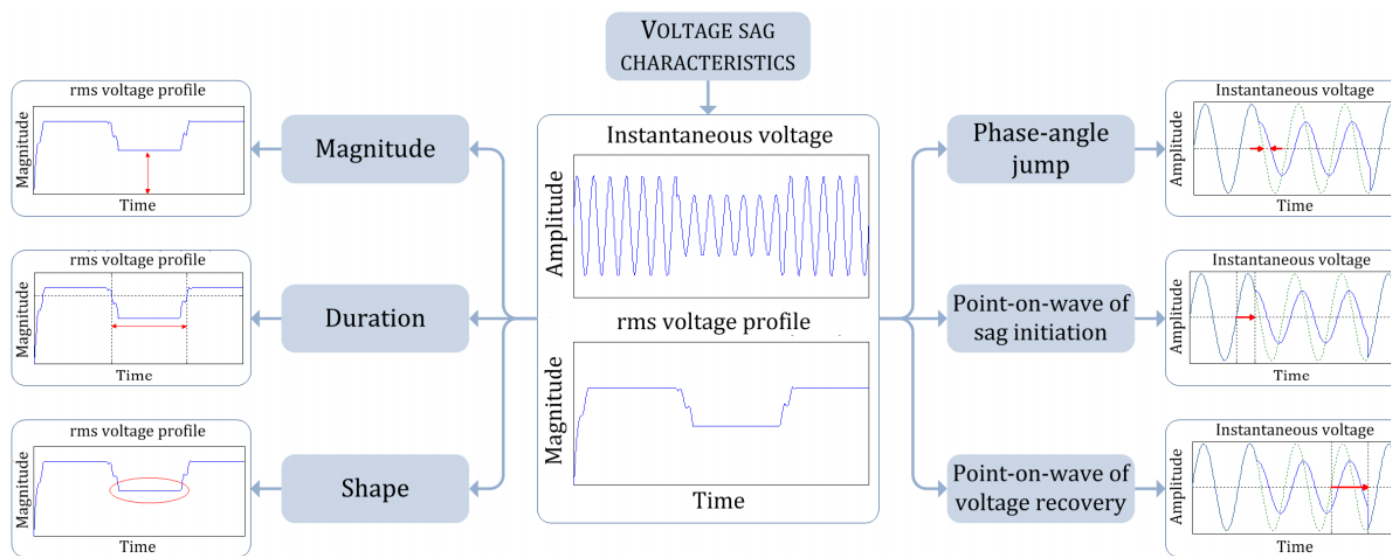
5) Σημείο έναυσης (*Point-on-wave of sag initiation*)

Αναφέρεται στην τιμή της φάσης τάσεως, την χρονική στιγμή που ξεκινάει το συμβάν.

6) Σημείο επαναφοράς (*Point-on-wave of voltage recovery*)

Αναφέρεται στην στιγμιαία φάσης τάσεως, την χρονική στιγμή που ολοκληρώνεται το συμβάν.

Μια σχηματική απεικόνιση των παραπάνω παραμέτρων είναι η εξής:



Εικόνα 8: Voltage Sag Characteristics

Όσον αφορά τις βυθίσεις τάσης λόγω της σύνδεσης μεγάλων κινητήρων προκαλούνται λόγω των μεγάλων ρευμάτων εκκινήσεως και έχουν χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από το μέγεθος των κινητήρων, τα χαρακτηριστικά τους (αδράνεια, τρόπος εκκίνησης κτλ) καθώς και από την ισχύ βραχυκύκλωσης.

Για βυθίσεις τάσης που προκαλούνται από σφάλματα, το μέγεθος της τάσης εξαρτάται από την απόσταση του σφάλματος από το φορτίο, τις διασυνδέσεις του δικτύου καθώς και το πόσο δυνατό ή ασθενές είναι το δίκτυο (ισχύς βραχυκύκλωσης). Ο τύπος του σφάλματος και οι συνδεσμολογίες των μετασχηματιστών μεταξύ του σφάλματος και του φορτίου είναι επίσης καθοριστικοί παράγοντες του μεγέθους της τάσης. Η διάρκεια εξαρτάται κυρίως από το πόσο γρήγορα θα λειτουργήσει το σύστημα προστασίας του δικτύου προκειμένου να απομονωθεί το τμήμα του δικτύου όπου εμφανίστηκε το σφάλμα. Οι χρόνοι που υπεισέρχονται εδώ είναι τόσο ο χρόνος εντοπισμού του σφάλματος (δηλαδή ο τύπος προστασίας που χρησιμοποιείται: ηλεκτρονόμοι αποστάσεως, διαφορική προστασία, ηλεκτρονόμοι υπερέματος, ασφάλειες κτλ) καθώς και ο χρόνος λειτουργίας των συσκευών διακοπής του ρεύματος (διακόπτες ισχύος, ασφάλειες κτλ).

3. Υπερτάσεις (Overvoltages)

Όπως και στην περίπτωση των υποτάσεων, έτσι και στην περίπτωση των υπερτάσεων, υπάρχει διαφορετική ονοματολογία με βάση την διάρκεια του εκάστοτε συμβάντος. Υπερτάσεις μικρής διάρκειας είναι γνωστές ως "transient overvoltages", "voltage spikes" ή και "voltage surges". Ο πιο διαδεδομένος όρος για το παραπάνω φαινόμενο είναι "voltage swell". Μεγάλης διάρκειας υπερτάσεις αποκαλούνται απλά

υπερτάσεις (Overvoltages). Ως υπέρταση ορίζεται η αύξηση στην RMS τιμή της τάσης σε περισσότερο από 110 % και για διάρκεια μεγαλύτερη του ενός λεπτού.

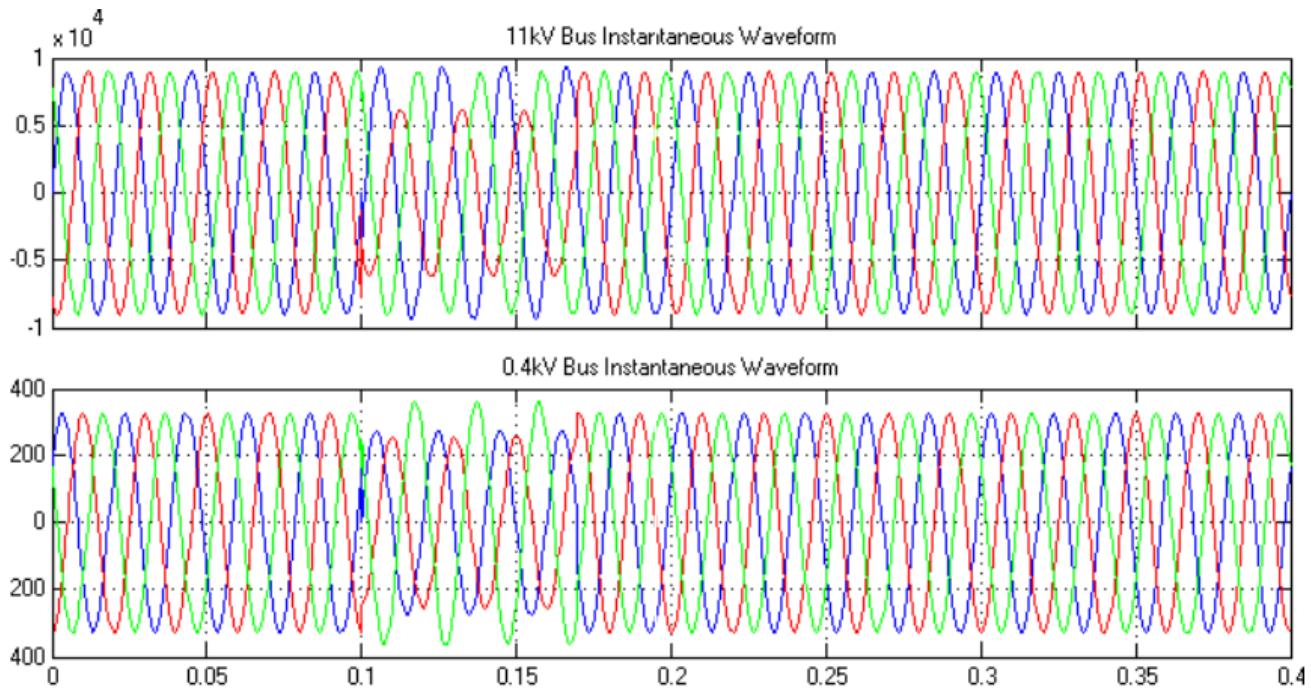
Υπερτάσεις οποιοδήποτε τύπου δημιουργούνται εξαιτίας κεραυνών (και μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλματα), προβλήματα σε διακόπτες ισχύος, άλλα φαινόμενα διακοπής, σφάλματα (βραχυκυκλώματα) και λόγω μη γραμμικότητας.

Διακόπτες ισχύος που διακόπτουν πρόωρα το ρεύμα το οποίο εισέρχεται από αυτούς (όχι στο σημείο όπου το ρεύμα γίνεται μηδέν) προκαλούν μεγάλες υπερτάσεις. Το φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί όταν διακόπτες ισχύος προσπαθούν να διακόψουν μικρά επαγωγικά ρεύματα και ενδέχεται να οφείλεται σε πρόβλημα των επαφών του. Οι υπερτάσεις αυτές είναι τυπικά μικρής διάρκειας αλλά μπορεί να φτάσουν σε μέγεθος 3 φορές την ονομαστική τιμή. Υπερτάσεις μεγαλύτερης διάρκειας εμφανίζονται κατά την διάρκεια μονοφασικών σφαλμάτων σε αγείωτα δίκτυα ή δίκτυα γειωμένα μέσω σύνθετης αντίστασης. Οι υπερτάσεις στην χειρότερη περίπτωση ισούνται με την πολική τάση του δικτύου, εμφανίζονται στις υγιείς φάσεις και διαρκούν όσο διαρκεί το σφάλμα. Υπερτάσεις μικρής διάρκειας αλλά μεγάλου μεγέθους ενδεχομένως να σημειωθούν κατά την σύνδεση πυκνωτών στο δίκτυο. Το μέγεθος τους μπορεί να φτάσει μέχρι και 2 φορές την ονομαστική τάση και αυτό εγκυμονεί κινδύνους για την λειτουργία αλλά και την ασφάλεια ηλεκτρονικών συσκευών. Περιπτώσεις έχουν καταγραφεί όπου εξαιτίας τέτοιων υπερτάσεων σημειώθηκαν βλάβες των ηλεκτρονικών τμημάτων συσκευών όπως αξονικοί τομογράφοι και κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας. Η σύνδεση πυκνωτή προκαλεί μια ταλάντωση μεταξύ του πυκνωτή που ενεργοποιείται και του συστήματος. Η ταλάντωση αυτή μεταδίδεται στο δίκτυο και διαμέσου των μετασχηματιστών ,φτάνει στους καταναλωτές. Άλλες υπερτάσεις (πχ λόγω κεραυνών), που συνδέονται με υψηλότερες συχνότητες, ανακλώνται στον μετασχηματιστή, ένα μικρό ποσοστό του ρεύματος όμως περνάει στο υπόλοιπο κύκλωμα και δημιουργεί προβλήματα στα φορτία.

Όταν συνδέονται πυκνωτές στο δίκτυο διανομής για την υποστήριξη της τάσης, το φαινόμενο ενδέχεται να παρουσιάσει δυσμενέστερα χαρακτηριστικά στο δίκτυο της χαμηλής τάσης εξαιτίας της παρουσίας εκεί πυκνωτών χωρητικής αντιστάθμισης (φαινόμενο συντονισμού). Η τάση εκεί μπορεί να φτάσει έως και 3 φορές την ονομαστική ,ειδικά σε περιπτώσεις όπου το φορτίο είναι κυρίως κινητήρες και δεν υπάρχει αρκετή απόσβεση από ωμικά φορτία.

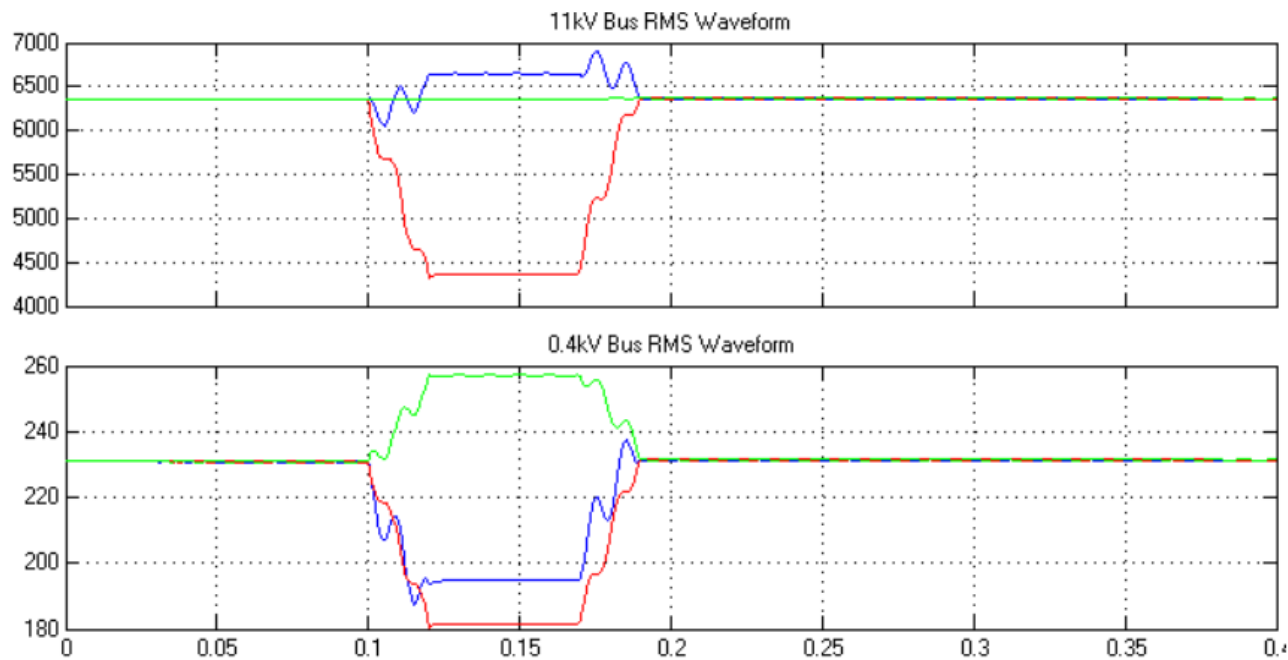
Η προστασία υπερτάσεως (surge arresters) πρέπει να τοποθετηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω. Η τοποθέτηση πυκνωτών με δυνατότητα ελεγχόμενης σύνδεσης σε επιλεγμένες χρονικές στιγμές μπορεί να περιορίσει στο ελάχιστο αυτού του είδους τις υπερτάσεις.

Ένα παράδειγμα υπέρτασης και υπότασης , το οποίο προκλήθηκε λόγω βραχυκυκλώματος τύπου L-L είναι το εξής:



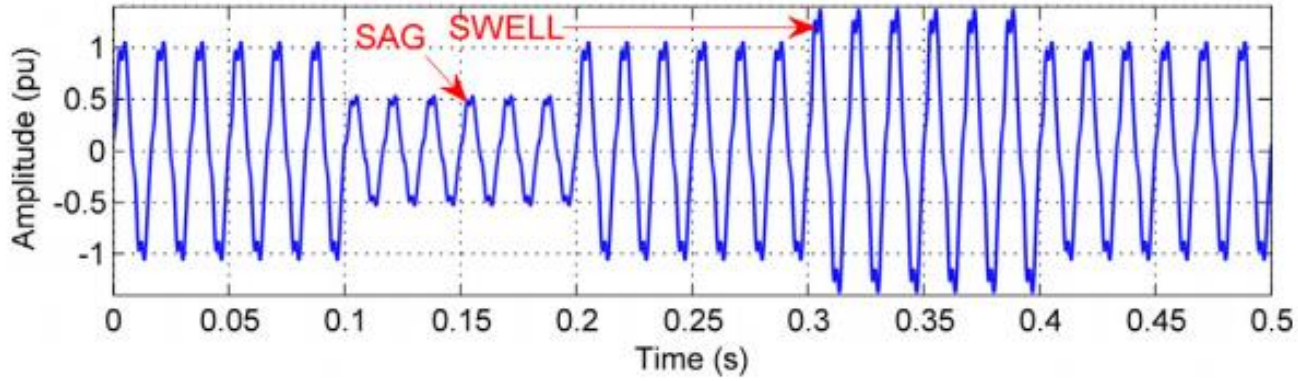
Εικόνα 9: Sag and Swell graphs

Ενώ οι RMS τιμές τους είναι οι εξής:



Εικόνα 10 : Sag and Swell RMS graphs

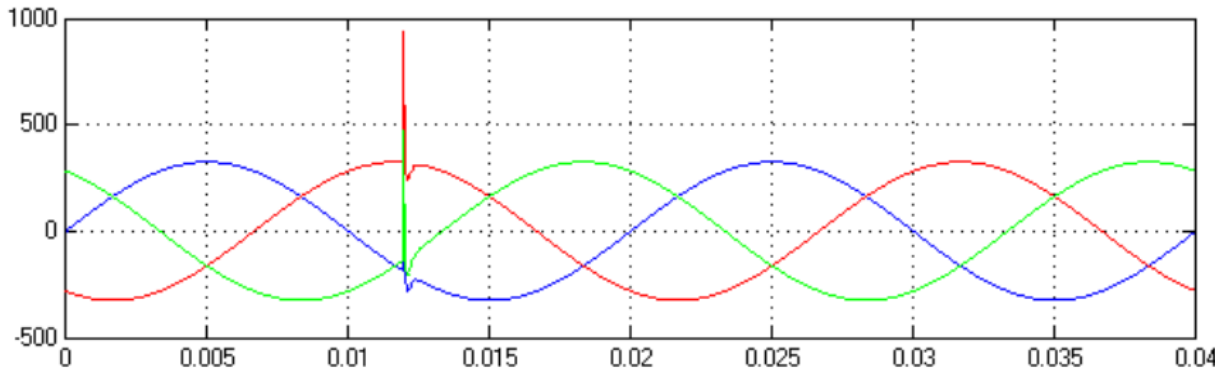
Μια πιο ξεκάθαρη εστίαση των παραπάνω δύο συμβάντων είναι οι παρακάτω:



4. Ταχείας τάσης συμβάντα (*Fast voltage events*)

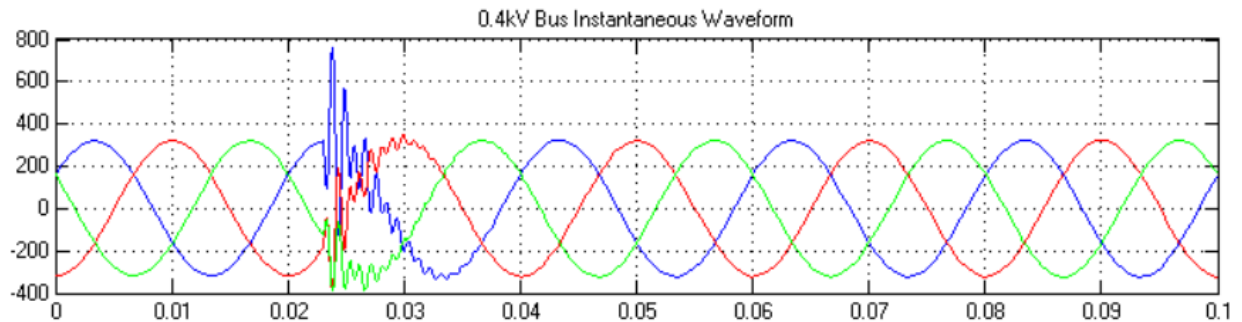
Υπάρχουν συμβάντα τα οποία απεικονίζονται στις χαρακτηριστικές τάσεων και είναι πολύ μικρής διάρκειας, τυπικά ενός κύκλου ή και λιγότερο. Τα παραπάνω φαινόμενα ονομάζονται μεταβατικά ή μεταβατικές τάσεις (transient, transient overvoltage, wave shape faults). Ο όρος "μεταβατικά" δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην περίπτωση καθώς εξ ορισμού ορίζονται ως μετάβαση μεταξύ δύο μόνιμων καταστάσεων (steady state). Συνεπώς διακρίνεται μια σύγχυση μεταξύ των όρων fast voltage events και notching. Τα ταχείας τάσης συμβάντα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 2 ομάδες. Τα εξαιρετικά ταχεία μεταβατικά φαινόμενα αιχμής, impulsive transients (π.χ. κεραυνοί) και τα μεταβατικά φαινόμενα με ταλαντώσεις, oscillatory (δημιουργούνται από δράσεις διακοπών). Σχηματικά παραδείγματα transient φαινομένων είναι τα εξής:

- *Impulse*

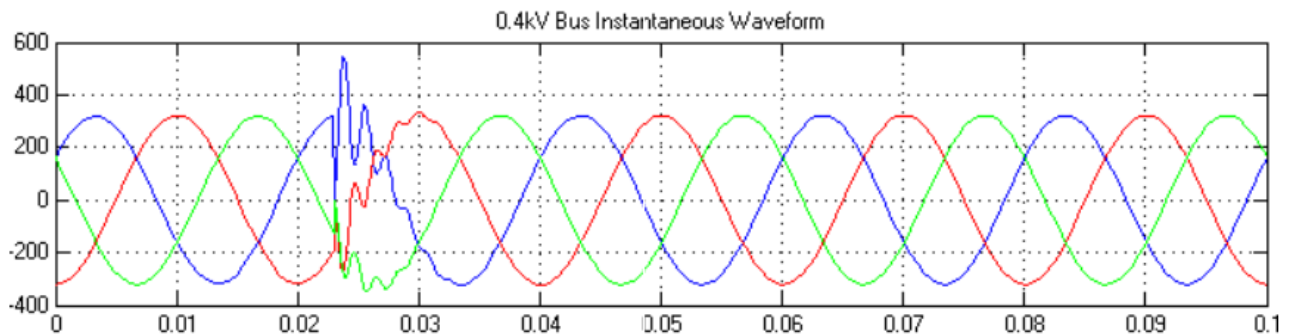


Εικόνα 11: Impulse graph

- *Oscillatory*



Εικόνα 12: Oscillatory graph (a)



Εικόνα 13: Oscillatory graph (b)

Διακυμάνσεις τάσης και ρεύματος

1. Διακυμάνσεις της συχνότητας και πλάτους τάσης (*voltage frequency/magnitude variations*)

Όσον αφορά το πλάτος της τάσης, έγκειται στις αυξομειώσεις που συμβαίνουν λόγω:

- κάποιας μεταβολής του συνολικού φορτίου του συστήματος ή μέρους αυτού
- λειτουργίες μετασχηματιστών με λήψεις (tap-changers transformers)
- εναλλαγή λειτουργίας συστημάτων αποθήκευσης και βελτιώσεις ισχύος (capacitors banks or reactors)

Η επιρροή των Μ/Σ με λήψεις όπως και των συστημάτων αποθήκευσης και βελτιώσεις ισχύος είναι περιστασιακή καθότι υπάρχει και η δυνατότητα να θεωρηθεί ενσωματωμένη στην επιρροή του φορτίου. Συνεπώς η μεταβολές του μεγέθους της τάσης συμβαίνουν κατά κανόνα λόγω των μεταβολών φορτίου. Κατά τα πρότυπα IEC η παραπάνω μεταβολή εμφανίζεται με τον όρο 'voltage variation' αντί για 'voltage magnitude variation', ενώ ο οργανισμός IEEE έχει προσδώσει ξεχωριστό όρο για την ανωτέρα μεταβολή. Υπερταχείες μεταβολές του μεγέθους της τάσης αναφέρονται με τον όρο 'voltage fluctuations' και θα επεξηγηθούν παρακάτω.

Όσον αφορά την συχνότητα της τάσης, όπως και στην περίπτωση του πλάτους έτσι και στην συχνότητα, η τάση τροφοδοσίας δεν είναι ένα στατικό μέγεθος και συνεπώς δεν είναι σταθερό. Οι μεταβολές της συχνότητας της τάσης συμβαίνουν λόγω του φαινομένου της ασυμμετρίας φάσεων τόσο στην πλευρά τροφοδοσίας όσο και στην πλευρά φορτίου (unbalance). Μικρές μεταβολές της συχνότητας που προήλθαν είτε από κάποιο βραχυκύκλωμα είτε από δυσλειτουργία κάποιας γεννήτριας μπορούν να συμπεριληφθούν στην παραπάνω κατηγορία. Κατά τα πρότυπα IEC χρησιμοποιείται ο όρος power 'frequency variation' ενώ κατά τον IEEE 'frequency variations'.

2. Διακυμάνσεις της φάσης και του πλάτους ρεύματος (*current magnitude/phase variations*)

Εξετάζοντας την πλευρά του φορτίου, διαπιστώνουμε ότι το πλάτος του ρεύματος δεν είναι σταθερό. Οι μεταβολές στο πλάτος της τάσης 'ακολουθούν' τις μεταβολές στο πλάτος του ρεύματος, οι οποίες είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την σχεδίαση του συστήματος προστασίας. Ένα τέτοιο σύστημα σχεδιάζεται με βάση την μέγιστη τιμή του ρεύματος. Όσο πιο σταθερή παρουσιάζεται μια χαρακτηριστική του ρεύματος, τόσο πιο 'φθηνή' από άποψη τροφοδοσίας είναι η παροχή ισχύος.

Ιδανικά, τα μεγέθη της τάσης και του ρεύματος είναι συμφασικά κάτι που συνεπάγεται μοναδιαίο συντελεστή ισχύος και μηδενική κατανάλωση άεργου ισχύος. Η ανωτέρα κατάσταση (η οποία επιτρέπει την βέλτιστη μεταφορά ενεργού ισχύος) καθότι ιδανική, δεν συναντάται στα ΣΗΕ συνεπώς κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη του όρου της 'φάσης'.

3. Ασυμμετρία τάσης και ρεύματος (*voltage and current unbalance*)

Ασυμμετρία (γνωστή και ως τριφασική ασυμμετρία) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο οι rms τιμές της τάσης ή οι γωνίες μεταξύ διαδοχικών φάσεων της τάσης, δεν είναι ίσες. Η επίδραση της ασυμμετρίας σε ένα τριφασικό σύστημα μπορεί να εκφραστεί αλγεβρικά με διάφορους τρόπους.

- Ο λόγος των αρνητικών συνιστωσών της τάσης προς τις αντίστοιχες θετικές.
- Ο λόγος της διαφοράς μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της τάσης προς το μέσο όρο των συνιστωσών της τάσης .
- Η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης φασικής γωνίας ανάμεσα σε διαδοχικές φάσεις.

Η κύρια πηγή της ασυμμετρίας της τάσης είναι κάποιο μη συμμετρικό φορτίο που συνεπάγεται μεταβατικά ρεύματα. Αυτό μπορεί να προέλθει από κάποια ανεπαρκής τροφοδοσία ενός (μονοφασικού) καταναλωτή χαμηλής τάσης. Παραδείγματα του προηγούμενου συναντιούνται στις τροφοδοσίες σιδηροδρόμων. Επίσης, η τριφασική ασυμμετρία μπορεί να είναι αποτέλεσμα κάποιας δυσλειτουργίας ενός συσσωρευτή ενέργειας όπως και κάποιας βλάβης μονοφασικού διακόπτη. Η μελέτη της τριφασικής ασυμμετρίας έχει ιδιαίτερη σημασία για τα τριφασικά φορτία καθότι οδηγεί σε δημιουργία επιπλέον θερμότητας στα τυλίγματα σύγχρονων και ασύγχρονων μηχανών το οποίο με την σειρά του οδηγεί σε μείωση της απόδοσης των παραπάνω στοιχείων. Κατά την IEEE υπάρχουν αναφορές του όρου ως "voltage unbalance", ενώ σε ορισμένα standards της (IEEE Std. 1159) εμφανίζεται ο όρος "voltage imbalance".

4. Μεταβολές τάσης (Voltage fluctuation)

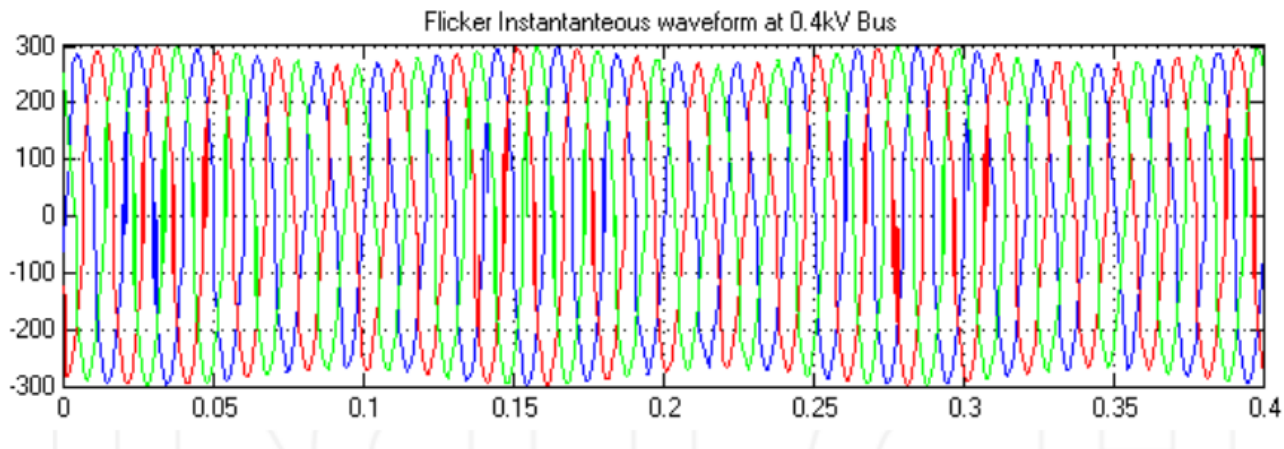
Όταν υπάρχουν μεταβολές στο πλάτος της τάσης δημιουργούνται και μεταβολές στην ροή φορτίου προς κάποιο εξοπλισμό. Εάν αυτές οι μεταβολές είναι σχετικά μεγάλες με ένα ορισμένο εύρος συχνοτήτων, οι επιδόσεις του εκάστοτε εξοπλισμού επηρεάζονται. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι υπερταχείες μεταβολές του μεγέθους της τάσης είναι γνωστές με τον όρο "voltage fluctuations" και έχουν σημαντική επίδραση σε φορτία φωτισμού. Στη περίπτωση που η φωτοβολία ενός λαμπτήρα μεταβάλλεται μεταξύ 1 Hz και 10 Hz, γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι μέσω του φαινομένου "light flicker" το οποίο σε βάθος χρόνου είναι ανασταλτικός παράγοντας για την όραση. Οι επαναλαμβανόμενες μεταβολές της τάσης οφείλονται σε αντίστοιχες μεταβολές της απορροφούμενης ή της παραγόμενης ενεργού και άεργου ισχύος, όπως π.χ. συμβαίνει στην περίπτωση της λειτουργίας ηλεκτροσυγκολλήσεων, κινητήρων που κινούν φορτία με μεταβαλλόμενη ροπή αντιστάσεως καθώς και στην περίπτωση γεννητριών με μεταβαλλόμενη κινητήρια ροπή, όπως είναι οι ανεμογεννήτριες.

Μέτρο του προκαλούμενου από τις διακυμάνσεις της τάσης flicker είναι οι δείκτες flicker βραχείας διάρκειας, Pst για χρονικό διάστημα παρατήρησης 10 λεπτών, και μακράς διάρκειας Plt για χρονικό διάστημα παρατήρησης 120 λεπτών (2 ωρών – 12 διαστήματα των 10 min). Η μέτρηση του Pst γίνεται με τη βοήθεια ειδικού οργάνου, του

φλικερόμετρον (flicker-meter), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-15 . Ο δείκτης flicker μακράς διάρκειας Plt, προκύπτει από τις 12 διαδοχικές τιμές του Pst σύμφωνα με την εξής σχέση:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (P_{st,i})^3} \quad (3.1)$$

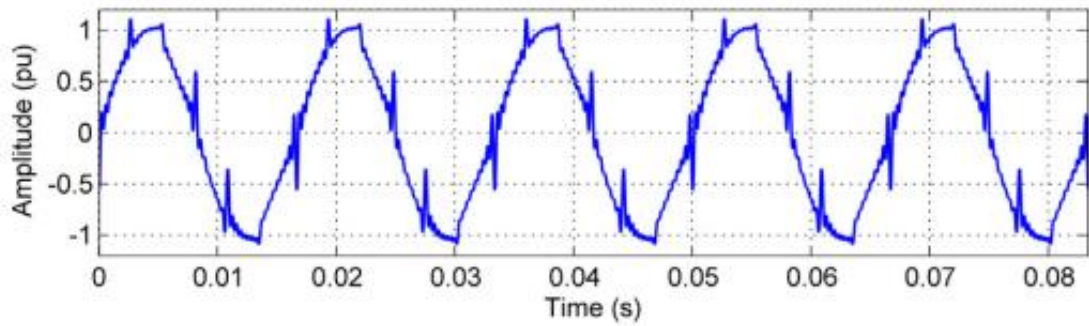
Οι όροι "voltage fluctuation" και "light flicker" χρησιμοποιούνται επισήμως από την IEEE και αναφέρονται στα πρότυπα IEC.



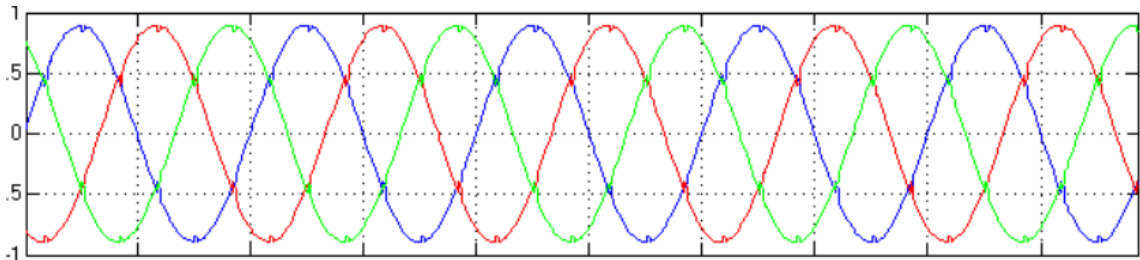
Εικόνα 14: Flicker graph

5. Περιοδική οδόντωση τάσης (Periodic voltage notching)

Στους τριφασικούς ανορθωτές, η διασύνδεση μιας διόδου ή ενός thyristor με κάποιο άλλο αντίστοιχο στοιχείο δημιουργεί ένα βραχυκύκλωμα διάρκειας λιγότερο από 1 ms το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της τάσης εξόδου. Το παραπάνω φαινόμενο αποκαλείται οδόντωση τάσης (voltage notching) ή απλά οδόντωση (notching). Το συγκεκριμένο φαινόμενο, βρίσκει εφαρμογή στις αρμονικές μεγάλων τάξεων, οι οποίες δεν λαμβάνονται ιδιαίτερα υπόψη στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος. Ένα λόγος που παρουσιάζεται notching για τα ΣΗΕ είναι η μεγάλη αντίδραση (reactance) που διαθέτουν τα κυκλώματα οδήγησης μηχανών (adjustable-speed driver) που χρησιμοποιούνται με σκοπό να κρατούν το DC ρεύμα σταθερό. Κατά την IEEE χρησιμοποιούνται οι όροι "line voltage notch" ή απλούστερα "notch" για να περιγράψουν οποιαδήποτε μείωση της τάσης που διαρκεί λιγότερο από μισό κύκλο. Δύο γραφικά παραδείγματα notch είναι τα εξής:



Εικόνα 15: notching graph (a)



Εικόνα 16: notching graph (b)

6. Υψηλής συχνότητας θόρυβος τάσης (High-frequency voltage noise)

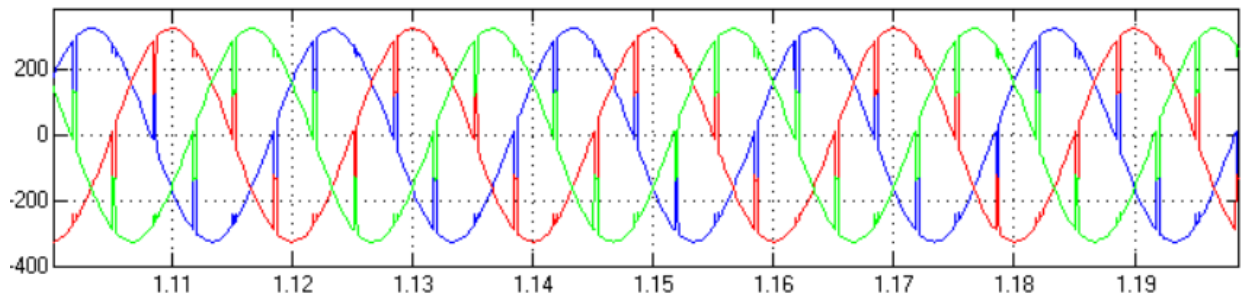
Η τροφοδοτούμενη τάση περιέχει συνιστώσες οι οποίες δεν είναι καθόλου περιοδικές . Οι συγκεκριμένες συνιστώσες αποτελούν στο σύνολο τους τον αποκαλούμενο θόρυβο (τύρβη) που είναι γνωστός και ως noise. Ένας συνδυασμός πολλών μη γραμμικών φορτίων μπορεί να οδηγήσει σε θόρυβο τάσης (voltage noise). Θόρυβος επίσης εμφανίζεται μεταξύ των επαφών ενός αγωγού (phase-conductor). Ο διαχωρισμός του θορύβου από τις υπόλοιπες συνιστώσες δεν είναι μια απλή διαδικασία και απαιτείται μόνο σε περιπτώσεις που δημιουργούνται προβλήματα στον τροφοδοτούμενο εξοπλισμό ή καταναλωτή ισχύος.

7. Voltage magnitude steps

Πιθανοί λόγοι που οδηγούν στο φαινόμενο που ονομάζεται Voltage magnitude steps είναι :

- Αλλαγή κατάστασης διακοπών σε κάποιο φορτίο
- Λειτουργία Μ/Σ με λήψεις
- Αλλαγή κατάστασης διακοπών ισχύος

Μια τέτοια αιφνίδια αλλαγή στο μέγεθος της τάσης συναντάται ως "rapid voltage change" κατά το πρότυπο EN 50160 αλλά και ως "voltage change" κατά το IEEE Std. 1159. Το μέγεθος της τάσης πριν και μετά το συγκεκριμένο φαινόμενο κυμαίνεται εντός των φυσιολογικών τιμών λειτουργίας του (τυπικά μεταξύ 90%-110% της ονομαστικής τιμής). Γραφικά, το παραπάνω φαινόμενο απεικονίζεται ως εξής:



Εικόνα 17: Voltage magnitude steps graph

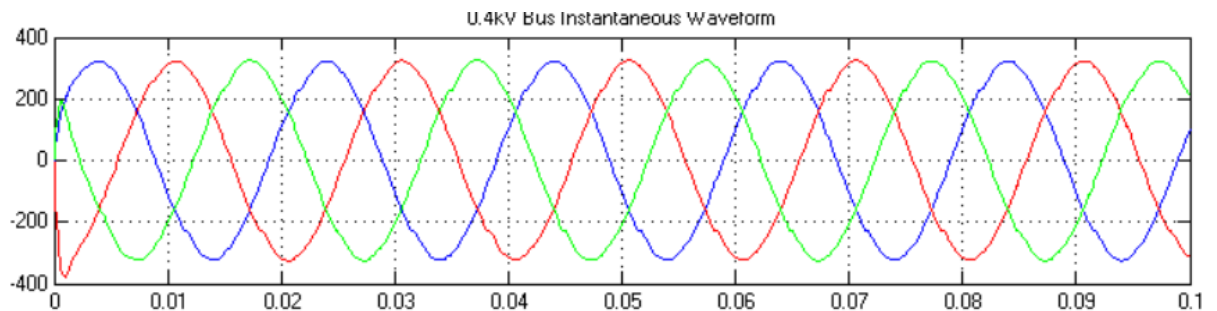
8. Αρμονικές διαταραχές τάσης/ ρεύματος (Harmonic voltage/ current distortions)

Η κυματομορφή τάσης ενός συστήματος δεν αναπαριστάται ποτέ ως ένας αμιγής ημιτονικός παλμός. Το συγκεκριμένο φαινόμενο ονομάζεται αρμονική διαταραχή τάσης (harmonic voltage distortion) ή απλούστερα διαταραχή τάσης (voltage distortion). Θεωρώντας μια κυματομορφή περιοδική, έχουμε την δυνατότητα να την εκλαμβάνουμε ως ένα άθροισμα ημιτόνων με συχνότητες πολλαπλάσιες της θεμελιώδους συχνότητας. Οι μη θεμελιώδεις συνιστώσες αποτελούν την αρμονική διαταραχή (harmonic distortion). Υπάρχουν τρεις παράγοντες που συνεισφέρουν στο παραπάνω φαινόμενο και είναι οι εξής:

- Η τάση ακροδεκτών που παράγεται από τις σύγχρονες μηχανές δεν περιγράφεται επακριβώς ως ένα ημίτονο καθώς υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις από την ιδανική κατασκευή της μηχανής ύστερα από αρκετές χρήσεις. Ο παραπάνω παράγοντας έχει σχετικά μικρή συνεισφορά στο γενικότερο φαινόμενο και για τον λόγο αυτό υπάρχει πάντα η παραδοχή ότι η τάση είναι ημιτονοειδής κάτι που αποτελεί μια καλή προσέγγιση σε θεωρητικό επίπεδο κάτι που δεν ισχύει 100% σε πρακτικό.

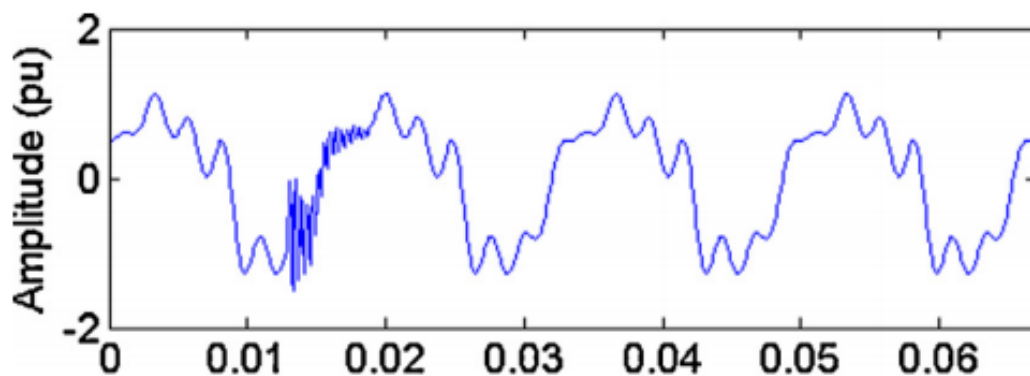
- Ένας άλλος παράγοντας στον οποίον οφείλεται η διαταραχή της τάσης είναι η ισχύς που μεταφέρεται από τα σημεία παραγωγής στα φορτία. Τα εν λόγω συστήματα μεταφοράς ισχύος δεν είναι τελείως γραμμικά κυκλώματα, οι αποκλίσεις των οποίων θεωρούνται μικρές. Κλασσικό παράδειγμα του προηγούμενου αποτελεί ο Μ/Σ ισχύος του οποίου η μη γραμμικότητα οφείλεται στον κορεσμό της μαγνητικής ροής που λαμβάνει χώρα στο πυρήνα του. Ένα άλλο παράδειγμα είναι τα στοιχεία ηλεκτρονικών ισχύος τα οποία χρησιμοποιούνται για την εναλλαγή της τάσης από AC σε DC και αντίστροφα. Ο παραπάνω παράγοντας έχει επίσης σχετικά μικρή συνεισφορά στο γενικότερο φαινόμενο.
- Ο πιο σημαντικός παράγοντας του φαινομένου είναι η μη γραμμικότητα των φορτίων. Ένα μεγάλο ποσοστό των φορτίων τροφοδοτείται μέσω ηλεκτρονικών ισχύος (π.χ. Converters) δημιουργώντας μη γραμμικά ρεύματα και συνεπώς διαταραχές ρεύματος οι οποίες με την σειρά τους δημιουργούν διαταραχές τάσης.

Το συμπληρωματικό φαινόμενο των αρμονικών διαταραχών τάσης είναι αρμονικές διαταραχές ρεύματος. Γραφικά, η αρμονική διαταραχή απεικονίζεται ως εξής:

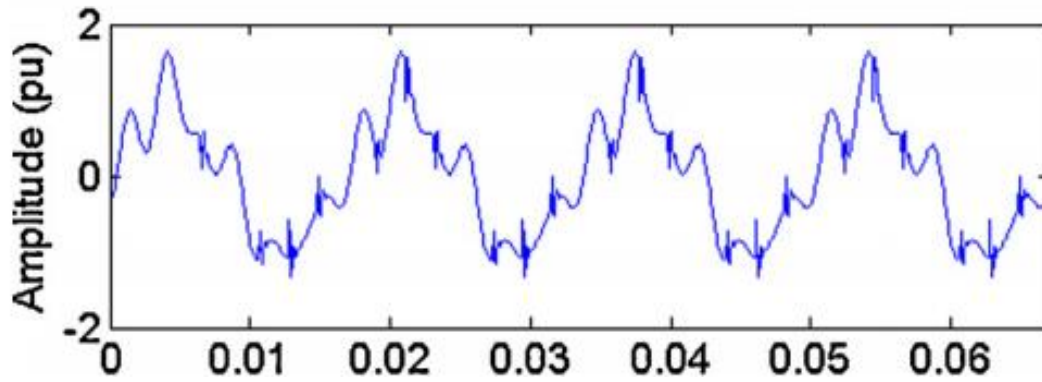


Εικόνα 18: Current Distortion graph (a)

Ενώ παραδείγματα αρμονικών διαταραχών συνδυασμένα με transient και notch είναι τα εξής:



Εικόνα 19: Current Distortion graph (b)

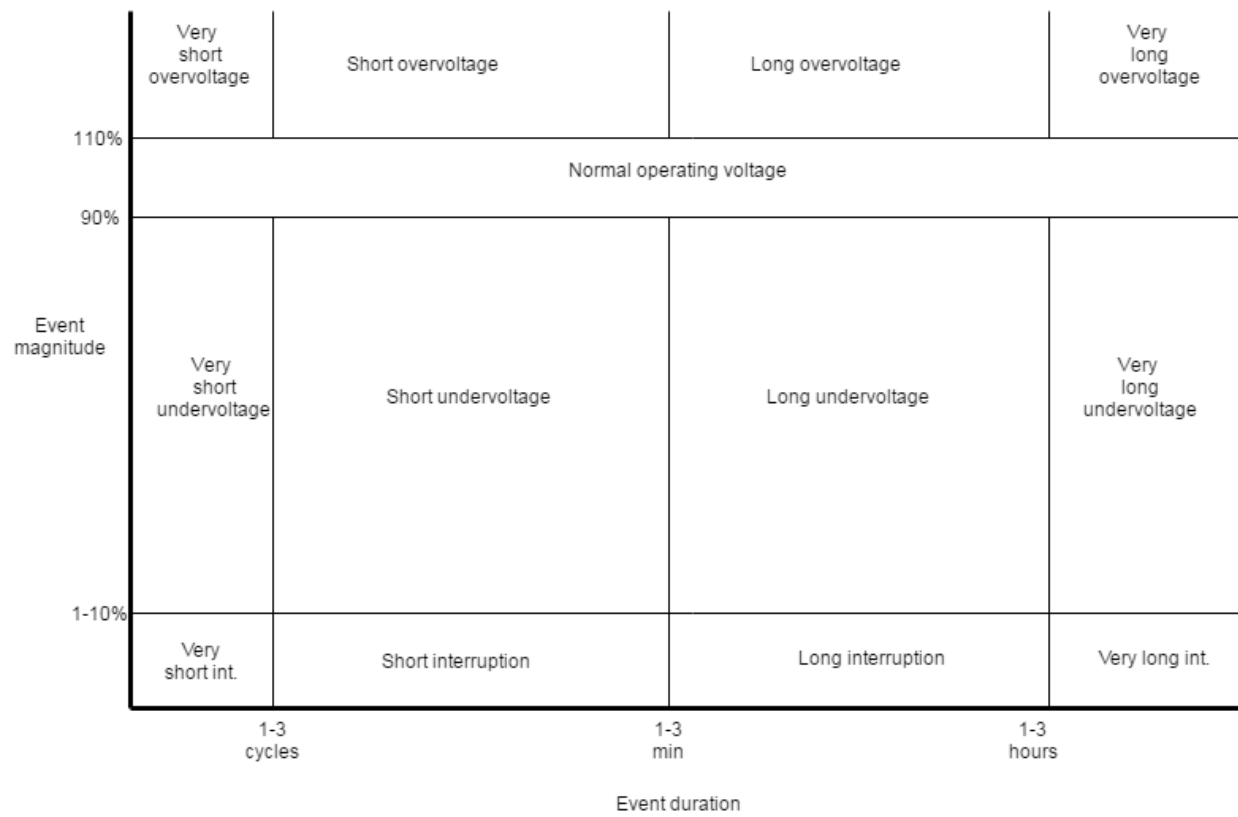


Εικόνα 20: Current Distortion graph (c)

Κατηγοριοποίηση συμβάντων

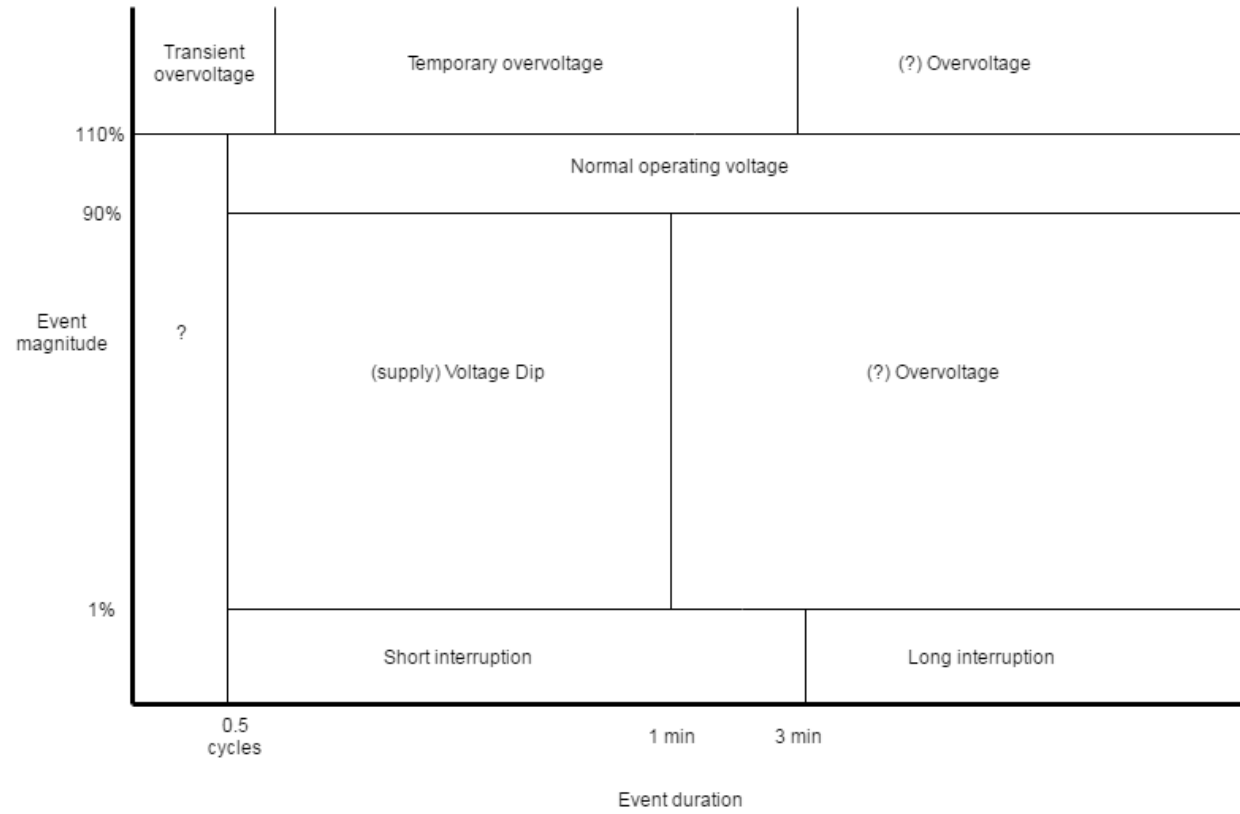
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, δεν υπάρχει ταύτιση ονοματολογίας και ορολογιών ανάμεσα στις βασικότερες ομάδες προτύπων. Ο παραπάνω διαχωρισμός γίνεται πλήρως κατανοητός με βάση τα ακόλουθα σχήματα.

Με βάση την οικογένεια προτύπων IEC



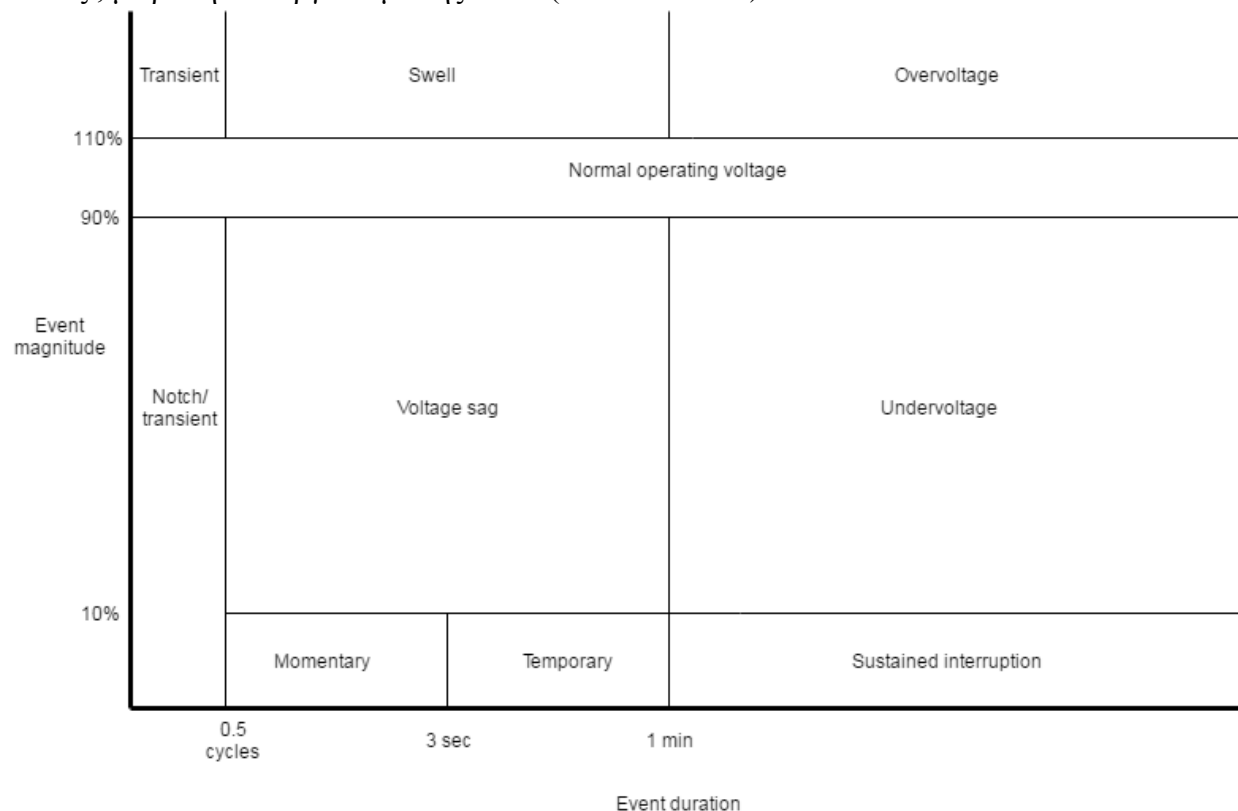
Εικόνα 21: Event Classification (a)

Ενώ με βάση τα EN πρότυπα (EN 50160)



Εικόνα 22: Event Classification (b)

Τέλος , με βάση τον οργανισμό της IEEE (Std.1159-1995)



Εικόνα 23: Event Classification (c)

Μέθοδοι αντιμετώπισης προβλημάτων ποιότητας ισχύος

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η κακή ποιότητα ισχύος μπορεί να προκαλέσει απώλεια παραγωγής και σφάλματα στον εξοπλισμό. Είναι συνεπώς απαραίτητο να διατηρείται υψηλό επίπεδο ποιότητας ισχύος. Οι διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα δίκτυα διανομής για να αυξήσουν την αξιοπιστία και την ποιότητα της ισχύος που παρέχεται στους καταναλωτές. Οι συσκευές που τοποθετούνται στα δίκτυα διανομής ονομάζονται Ενεργοί Αντισταθμιστές Ποιότητας Ισχύος (Active Power Quality Compensators – APQC). Μέσω της τεχνολογίας αυτής η αξιοπιστία και η ποιότητα της ισχύος βελτιώνονται, καθώς έχουμε μειωμένες διακοπές και περιορισμούς στις διακυμάνσεις και παραμορφώσεις τάσης και ρεύματος. Με σωστή χρήση αυτής της τεχνολογίας επωφελούνται όλοι οι καταναλωτές, βιομηχανικοί και οικιακοί.

Οι ενεργοί αντισταθμιστές χρησιμοποιούνται κυρίως για ενεργό φιλτράρισμα, εξισορρόπηση φορτίου, διόρθωση συντελεστή ισχύος και διαχείριση της τάσης. Υπάρχουν πολλών ειδών τύποι συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν την ποιότητα ισχύος, και γενικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Βηματικές συσκευές stepwise (Συσκευές ρύθμισης τάσης σε βήματα)
- Αντισταθμιστές

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν συσκευές που ρυθμίζουν την τάση με χρήση ηλεκτρονικά ελεγχόμενης συσκευής που μεταβάλλει βηματικά το επίπεδο της τάσης ή με χρήση πυκνωτών με διακριτές μεταβλητές τιμές. Τέτοιες συσκευές χρησιμοποιούνται για παράδειγμα για αντιστάθμιση άεργου ισχύος.

Στη δεύτερη κατηγορία, οι συσκευές διαθέτουν συνήθως μετατροπείς που τροφοδοτούνται από πηγή τάσης (Voltage Source Converters – VSC) που ελέγχονται με διάφορες στρατηγικές, οι οποίες ανάλογα με την τοπολογία, μπορεί να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: αντισταθμιστές ρεύματος, τάσης και συνδυασμός των δύο.

Τα παράλληλα ενεργά φίλτρα ισχύος (Parallel Active Power Filter – PAPF ή Shunt Active Power Filter - SAPF) μπορούν να θεωρηθούν ένα τυπικό παράδειγμα συσκευής αντιστάθμισης ρεύματος, και μπορούν να λειτουργήσουν με δύο τρόπους: 1) αντισταθμίζοντας ρεύμα: λειτουργούν ως ενεργό φίλτρο, αντισταθμιστής συντελεστή ισχύος, εξισοροπιστής φορτίου κ.ά., 2) αντισταθμίζοντας τάση: ρυθμιστής τάσης ζυγού για κάθε πιθανή παραμόρφωση ή διακοπή τάσης.

Η αντιστάθμιση όταν γίνεται μέσω της τάσης χρησιμοποιείται για φιλτράρισμα αρμονικών τάσης, ρύθμιση και εξισορρόπηση τάσης και αφαίρεση υπερτάσεων και υποτάσεων και γενικά πραγματοποιείται με χρήση για παράδειγμα Ενεργών φίλτρων ισχύος σε σειρά (Series Active Power Filter – SAPF).

Τα δύο είδη αντιστάθμισης –μέσω ρεύματος και τάσης- μπορούν επίσης να συνδυαστούν. Ο συνδυασμός αυτός χαρακτηρίζεται ως ενοποιημένη εξομάλυνση ποιότητας ισχύος (Unified Power Quality Conditioner – UPQC). Τα χαρακτηριστικά του μοιράζονται στα αντίστοιχα των παράλληλων και σε σειρά φίλτρων. Το φίλτρο σε σειρά επιτυγχάνει απομόνωση των αρμονικών μεταξύ τροφοδοσίας και φορτίου, ρύθμιση τάσης και αντιστάθμιση γρήγορων μεταβολών τάσης, ενώ το παράλληλο φίλτρο πραγματοποιεί φιλτράρισμα αρμονικών συνιστωσών, εξισορρόπηση αρνητικής ακολουθίας και ρύθμιση της τάσης στην πλευρά συνεχούς ρεύματος.

Κεφάλαιο 4ο Μετρήσεις ποιότητας ισχύος πρότυπα και κανονισμοί

Μετρήσεις και Μετρητικά Συστήματα Ποιότητας Ισχύος

Η ποιότητα ισχύος είναι συνυφασμένη με την έννοια των μετρήσεων. Οι μετρήσεις είναι απαραίτητες για την συλλογή στοιχείων τα οποία είτε θα δώσουν στατιστικά την εικόνα της λειτουργίας του συστήματος είτε θα εντοπίσουν ένα πρόβλημα και θα συνεισφέρουν στην λύση του. Οι μετρήσεις, ανάλογα με τον στόχο τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Μετρήσεις για μικρό χρονικό διάστημα στα πλαίσια μελετών για την επίλυση προβλημάτων ποιότητας ισχύος ή σε περίπτωση αλλαγών για την εκτίμηση του αντίκτυπου στην ποιότητα ισχύος του δικτύου (πχ η εγκατάσταση πυκνωτών σε ένα υποσταθμό) και
- Μετρήσεις μεγάλης διάρκειας με μόνιμα εγκαταστημένες μετρητικές συσκευές.

Μετρήσεις για την επίλυση προβλήματος Ποιότητας Ισχύος

Εάν εμφανισθεί κάποιο πρόβλημα σε κάποιο καταναλωτή, δηλαδή κάποιο φορτίο δεν λειτουργεί κανονικά (για παράδειγμα συχνές διακοπές λειτουργίας ή συχνές ζημιές σε κάποια στοιχεία του) τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το πρόβλημα να οφείλεται στην ποιότητα ισχύος που παρέχει το δίκτυο από το οποίο τροφοδοτείται το φορτίο. Ακόμα και αν υπάρχει κάποια βλάβη στην ίδια την συσκευή, οι μετρήσεις μπορούν να αποκαλύψουν κάτω από ποιες συνθήκες παρουσιάζεται το πρόβλημα. Η λύση του προβλήματος μπορεί να βρεθεί με την εκπόνηση μελέτης που ξεκινά από την καταγραφή και ανάλυση της ποιότητας ισχύος του ηλεκτρικού συστήματος και καταλήγει στην επιλογή κάποιας μεθόδου βελτίωσης της ή προστασίας του φορτίου αν βέβαια αποδειχθεί από την ανάλυση ότι η αιτία του προβλήματος βρίσκεται στα χαρακτηριστικά της τάσης και του ρεύματος του δικτύου. Πιο αναλυτικά τα βήματα μιας τέτοιας μελέτης είναι:

1. Διεξαγωγή Μετρήσεων: χρησιμοποίηση καταγραφικών μηχανημάτων για συλλογή στοιχείων που αφορούν το πρόβλημα. Το χρονικό διάστημα των μετρήσεων πρέπει να είναι τέτοιο που να επιτρέπει την επαρκή αποτύπωση των φαινομένων που εμφανίζονται στο δίκτυο. Αρκετές φορές μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε διάφορα σημεία προκειμένου να

εντοπισθεί η πηγή του προβλήματος. Η γνώση των δεδομένων του δικτύου είναι απαραίτητη σε αυτή την φάση προκειμένου να αξιοποιηθούν οι μετρήσεις όσο το δυνατόν περισσότερο.

2. Ανάλυση αποτελεσμάτων : η επεξεργασία των μετρήσεων είναι το επόμενο βήμα. Η ανάλυση όχι μόνο μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό του προβλήματος αλλά και στην απόκτηση των παραμέτρων που χρειάζονται για την λύση του. Η ανάλυση των μετρήσεων μπορεί να συνδυαστεί με την ανάλυση του δικτύου. Προγράμματα προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά όταν αναλυτικές λύσεις δεν επαρκούν για την επακριβή μελέτη του φαινομένου που προκαλεί το πρόβλημα.

3. Διερεύνηση λύσεων: τα μέτρα τα οποία θα ληφθούν για την λύση του προβλήματος πρέπει να εξετασθούν προσεκτικά τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής απόψεως. Η χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης μπορεί και εδώ να φανεί πολύτιμη. Συγκρίνοντας τις παραμέτρους διαφορετικών λύσεων μπορεί να βρεθεί η καλύτερη, για την περίπτωση, αντιμετώπιση του προβλήματος.

4. Μετρήσεις για την αξιολόγηση της λύσης: αν τελικά η προτεινόμενη λύση πραγματοποιηθεί, μετρήσεις πρέπει να γίνουν εκ νέου για να διαπιστωθεί σε ποιο βαθμό η λύση είναι αποτελεσματική. Στην τελική αυτή φάση της μελέτης είναι δυνατό να γίνουν διορθώσεις και να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η λύση του προβλήματος μπορεί να βρίσκεται είτε στην βελτίωση της ποιότητας ισχύος του δικτύου το οποίο τροφοδοτεί το φορτίο είτε με την εγκατάσταση κάποιας συσκευής για την αντιμετώπιση των φαινομένων που δημιουργούν το πρόβλημα. Ορισμένες φορές κάποιες ενέργειες από την μεριά της εταιρίας ηλεκτρισμού μπορούν να οδηγήσουν σε περιορισμό των προβλημάτων, για κάποια όμως προβλήματα είναι δύσκολο να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα από την εταιρία ηλεκτρισμού.

Ενδεχομένως η αιτία να βρίσκεται στο δίκτυο του καταναλωτή που έχει πρόβλημα ή το

πρόβλημα να το προκαλεί άλλος καταναλωτής. Συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων πλευρών είναι απαραίτητη για την επιτυχή αντιμετώπιση των προβλημάτων.

Μετρήσεις μεγάλης διάρκειας με μόνιμα εγκατεστημένες μετρητικές συσκευές

Τέτοιες μετρήσεις αφορούν τόσο τις εταιρίες ηλεκτρισμού όσο και μεγάλους καταναλωτές (βιομηχανικούς) και καταναλωτές με ειδικές απαιτήσεις (νοσοκομεία, αεροδρόμια κ.α.). Η διαθέσιμη τεχνολογία προσφέρει μεγάλες δυνατότητες. Καταγραφικές συσκευές μπορούν να τοποθετηθούν και να προσφέρουν διαρκώς πληροφορίες για την ποιότητα ισχύος του δικτύου και τυχόν προβλήματα που προκύπτουν.

Η διενέργεια μετρητικών προγραμμάτων με την εγκατάσταση και λειτουργία μετρητικών συσκευών παρέχει:

Για τις εταιρίες ηλεκτρισμού:

- Καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης προκειμένου να υπάρχει μια βάση για σύγκριση με την πάροδο του χρόνου
- Καλύτερη επικοινωνία με τους πελάτες και πληροφορίες για την λύση προβλημάτων τους

Γενικότερα οι μετρήσεις προσφέρουν:

- Άμεση εποπτεία του δικτύου και των λειτουργιών του (διακόπτες, προστασία, ρύθμιση τάσης)
- Ταχύ εντοπισμό υπάρχοντων προβλημάτων ή προβλημάτων σε εξέλιξη και προληπτική δράση (οργάνωση προληπτικής συντήρησης όχι μόνο στην βάση του χρονικού προγραμματισμού αλλά αξιοποιώντας τις μετρήσεις και τα προβλήματα που αυτές αποκαλύπτουν)
- Εποπτεία κρίσιμων εφαρμογών
- Αξιολόγηση τεχνικών λύσεων και δυνατότητα βελτίωσης τους (πχ ρυθμίσεων προστασίας, χαρακτηριστικά διεσπαρμένης παραγωγής κα)
- Εξοικονόμηση ενέργειας

Πρότυπα και κανονισμοί

Δύο διαφορετικά είδη προτύπων χρειάζονται όταν μετράται και πιστοποιείται η ποιότητα ισχύος: πρότυπα για τις μεθόδους μέτρησης και πρότυπα που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της παρεχόμενης τάσης και του ρεύματος .

Στα σύγχρονα όργανα που μετρούν την ποιότητα ισχύος, οι κυματομορφές του ρεύματος και της τάσης υπόκεινται σε δειγματοληψία για να υπολογιστούν στη συνέχεια οι παράμετροι της ποιότητας ισχύος. Δυστυχώς, οι παράμετροι αυτές μπορούν να υπολογιστούν με διαφορετικούς τρόπους, καταλήγοντας σε ελαφρώς διαφορετικά αποτελέσματα. Είναι λοιπόν, ιδιαίτερα σημαντικό τα όργανα μέτρησης να ακολουθούν τις μεθόδους υπολογισμού που επιβάλλουν τα αναγνωρισμένα πρότυπα, ιδίως όταν πρόκειται να συγκριθούν αποτελέσματα που έχουν προκύψει από διαφορετικά όργανα .

Τα πρότυπα που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της τάσης και του ρεύματος θέτουν τα επιτρεπτά όρια μέσα στα οποία πρέπει να κυμανθούν οι διάφορες διαταραχές της ποιότητας ισχύος. Στο ζήτημα της ποιότητας ισχύος τρεις φορείς εμπλέκονται και πρέπει να συμμορφώνονται με τα όρια των προτύπων : οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας, οι κατασκευαστές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και οι τελικοί καταναλωτές. Οι παραγωγοί πρέπει να παρέχουν μια ελάχιστη ποιότητα τάσης που να είναι συμβατή με τα όρια των προτύπων. Οι κατασκευαστές εξοπλισμού πρέπει να παράγουν συσκευές ανεκτικές σε ορισμένες διακυμάνσεις της τάσης ,ενώ ταυτόχρονα το ρεύμα που διοχετεύουν προς το δίκτυο να βρίσκεται εντός των καθορισμένων ορίων, με σκοπό να μη "μολύνουν" το δίκτυο διανομής. Οι καταναλωτές πρέπει με τη σειρά τους να απαιτούν ο εξοπλισμός που αγοράζουν και χρησιμοποιούν να συμβαδίζει με τους διεθνείς κανονισμούς.

Οργανισμοί που διαμορφώνουν τα πρότυπα

Οι κυριότεροι οργανισμοί (διεθνείς ή Ευρωπαϊκοί) που διαμορφώνουν τα πρότυπα που αφορούν την ποιότητα ισχύος είναι:

- IEC (International Electrotechnical Commission)
- ISO (International Organization for Standardization)
- CEN (European Committee for Standardization)
- CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)

- ANSI (American National Standards Institute)

Πρότυπα μέτρησης

Τα σημαντικότερα πρότυπα που αναφέρονται στις μεθόδους μέτρησης της ποιότητας ισχύος είναι τα ακόλουθα :

- EN 61000-4-30 : 2003 (IEC 61000-4-30 :2003)

Μέθοδοι Μέτρησης Ποιότητας Ισχύος.

Ορίζει τις μεθόδους μέτρησης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων για τις παραμέτρους της ποιότητας ισχύος στα εναλλασσόμενα συστήματα 50/60 Hz . Οι παράμετροι που καθορίζει είναι οι μεταβολές συχνότητας, flicker, βυθίσεις και διακυμάνσεις τάσης, διακοπές, ασυμμετρίες , μεταβατικά φαινόμενα, αρμονικές και ενδιάμεσες αρμονικές τάσης και ρεύματος. Ανάλογα με τον σκοπό των μετρήσεων όλα ή μέρος των παραπάνω φαινομένων μπορεί να μετρηθούν. Το πρότυπο αυτό ορίζει τις μεθόδους μέτρησης αλλά δε θέτει όρια.

Το πρότυπο αυτό έχει ορίσει δύο διαφορετικές κλάσεις ακρίβειας για τα όργανα με τα οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις , την κλάση A και την κλάση B. Τα όργανα κλάσης A είναι μεγαλύτερης ακρίβειας και χρησιμοποιούνται για συμβατικές μετρήσεις που πιστοποιούν τη συμμόρφωση ή όχι με τα όρια των προτύπων. Τα όργανα κλάσης B χρησιμοποιούνται περισσότερο για στατιστικές έρευνες όπου δεν είναι απαραίτητη πολύ μεγάλη ακρίβεια. Στην κλάση B δεν ορίζονται μέθοδοι υπολογισμού όπως στην κλάση A, αλλά ο κατασκευαστής του κάθε οργάνου πρέπει να αναφέρει λεπτομερώς τη μέθοδο μέτρησης που χρησιμοποιείται.

- EN 61000-4-7 : 2002 (IEC 61000-4-7 :2002)

Γενικός οδηγός για μετρήσεις και χρήση οργάνων που αφορούν αρμονικές και ενδιάμεσες αρμονικές .

Αφορά χρήση οργάνων που έχουν σκοπό να μετρήσουν τις συνιστώσες του φάσματος με συχνότητα έως 9 kHz που υπερτίθενται στη θεμελιώδη συχνότητα του συστήματος. Το πρότυπο διαχωρίζει ανάμεσα σε αρμονικές, ενδιάμεσες αρμονικές και άλλες συνιστώσες του φάσματος και χρησιμοποιείται για μετρήσεις είτε στο δίκτυο είτε σε μεμονωμένες συσκευές του εξοπλισμού.

Για τη μέτρηση αρμονικών χρησιμοποιείται ένα παράθυρο διαστήματος 10 κύκλων. Στο διάστημα αυτό , εφαρμόζεται ο Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier (DFT - Discrete Fourier Transform) και προκύπτει ένα φάσμα συχνοτήτων ανά 5 Hz , δηλαδή ανάμεσα στις

συχνότητες των αρμονικών (ακέραια πολλαπλάσια των 50 Hz) εμφανίζονται εννιά επιπλέον τιμές .

- EN 61000-4-15/A1 : 2003 (IEC 61000-4-15 Ed1.1:2003) και το EN 60868: 1993 (IEC/TR2 60868-am1:1990)

Flicker – Λειτουργικές και σχεδιαστικές προδιαγραφές.

Ορίζουν τις προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν για να μετρηθεί το flicker και να προσδιοριστεί το σωστό ποσοστιαίο επίπεδο του σε όλες τις διακυμάνσεις κυματομορφών τάσεων.

- EN 61400-21 :2002 (IEC 61400-21:2001)

Μέθοδοι Μέτρησης Ποιότητας Ισχύος.

Περιγράφει τη διαδικασία μετρήσεων για να ποσοτικοποιηθεί η ποιότητα ισχύος ενός δικτύου με συνδεδεμένες σε αυτό ανεμογεννήτριες ώστε τελικά να αποτιμηθεί αν ικανοποιούνται ή όχι οι απαιτήσεις της ποιότητας ισχύος.

- IEC/TR 61000-2-8 :2002-11

Βυθίσεις τάσης και μικρής διάρκειας διακοπές στο δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο με στατιστικά αποτελέσματα μετρήσεων.

- IEEE 1159-1995

Προτεινόμενη πρακτική για Καταγραφή Ποιότητας Ισχύος.

- IEEE 1250-1995

Οδηγός για επισκευές σε ευαίσθητες σε στιγμιαίες διακυμάνσεις της τάσης συσκευές.

- IEEE 1453-2004

Προτεινόμενη πρακτική για μετρήσεις και όρια του flicker.

Πρότυπα προδιαγραφών και ορίων της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος

Πρότυπα ποιότητας τάσης

Τα σημαντικότερα πρότυπα που προσδιορίζουν τα κύρια χαρακτηριστικά της τάσης που παρέχεται στους καταναλωτές είναι τα ακόλουθα :

- EN 50160 : 1999

Χαρακτηριστικά της τάσης που παρέχεται από το δημόσιο δίκτυο διανομής.

Το πρότυπο αυτό καθορίζει τις μέγιστες τιμές ή μεταβολές των χαρακτηριστικών της τάσης που παρέχει το δίκτυο διανομής χαμηλής και μέσης τάσης στους καταναλωτές , σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου. Εφαρμόζεται μόνο υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, που συμπεριλαμβάνεται ο σωστός χειρισμός των μονάδων προστασίας στην περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο. Μη κανονικές συνθήκες όπου δεν εφαρμόζεται το πρότυπο είναι : ακραίες καιρικές συνθήκες και φυσικές καταστροφές, ανάμειξη τρίτων παραγόντων, ενέργειες από δημόσιες αρχές, έλλειψη ενέργειας λόγω εξωτερικών παραγόντων.

Παρακάτω παρατίθενται δύο πίνακες που συνοψίζουν τα όρια της τάσης που οφείλει να παρέχει το δίκτυο στους καταναλωτές, σύμφωνα με το EN 50160.

Πίνακας 1: Specifications (a)

Χαρακτηριστικά της παρεχόμενης τάσης	Όρια		Παράμετροι μετρήσεων		
	Χαμηλή τάση	Μέση τάση	Βασική ποσότητα	Μέσο χρονικό διάστημα	Διάρκεια παρατήρησης
συχνότητα (σύνδεσης στο δίκτυο)	50Hz \pm 1% (49.5-50.5 Hz) 50Hz +4%/-6% (47-52 Hz)		μέση τιμή	10 s	1 εβδομάδα
συχνότητα (απομονωμένα συστήματα)	50Hz \pm 2% (49-51 Hz) 50Hz \pm 15% (42.5-57.5 Hz)		μέση τιμή	10 s	1 εβδομάδα
μεταβολές τάσης	$U_N \pm 10\%$	$U_C \pm 10\%$	RMS	10 min	1 εβδομάδα
γρήγορες μεταβολές τάσης	$<5\% U_N$	$<4\% U_C$	RMS		1 ημέρα
flicker	$P_{It} \leq 1$				1 εβδομάδα

βυθίσαις (10ms-	ενδεικτικά: 10-1000	RMS,		1 χρόνο
-----------------	---------------------	------	--	---------

Πίνακας 2: Specifications (b)

1min, $U_{RMS} < 90\% U_N$	χρόνο, βάθος <60%		διάρκεια		
μικρές διακοπές (<3min, $U_{RMS} < 1\% U_N$)	ενδεικτικά: 10-κάποιες εκατοντάδες το χρόνο, το 70% να διαρκεί <1s		RMS, διάρκεια		1 χρόνος
μεγάλες διακοπές(>3min, $U_{RMS} < 1\% U_N$)	ενδεικτικά: 10-50 το χρόνο		RMS, διάρκεια		1 χρόνος
προσωρινές υπερτάσεις	<1.5kV	<1.7 ή <2kV (ανάλογα τη σύνδεση ουδετέρου)	RMS		
μεταβατικές υπερτάσεις	<6kV, διάρκεια <1μs έως ms		peak		
ασυμμετρία	αναλογία αρνητικής/θετικής συνιστώσας <2%		RMS ανά 10 min		1 εβδομάδα
αρμονική παραμόρφωση	THD (ως 40 ^η αρμονική) < 8%		RMS	10 min	1 εβδομάδα
ενδιάμεσες αρμονικές	Δεν υπάρχουν διευκρινίσεις προς το παρόν				

Πίνακας 3: Specifications (c)

Επίπεδα συμβατότητας (compatibility levels) των αρμονικών της τάσης δικτύων XT και MT (IEC 61000-3-6)					
Περιττές αρμονικές ≠3k		Περιττές αρμονικές = 3k		Άρτιες αρμονικές	
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				
Ολική αρμονική παραμόρφωση, THD: 8 %					

- IEEE 519-1992

Συνιστώμενες πρακτικές και απαιτήσεις για τον έλεγχο των αρμονικών στα ηλεκτρικά συστήματα. Ο οδηγός αυτός βρίσκει εφαρμογή σε όλους τους τύπους μετατροπέων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και το εμπόριο. Αναφέρεται στα προβλήματα που σχετίζονται

με τον έλεγχο αρμονικών και την άεργο αντιστάθμιση των μετατροπέων. Θέτει όρια για διαταραχές στο εναλλασσόμενο δίκτυο διανομής που επιδρούν και σε άλλο εξοπλισμό.

- IEEE P1564

Προτείνει μεθόδους υπολογισμού διαφόρων χρήσιμων δεικτών για τη βύθιση τάσης.

- IEEE 1366-2003

Ο οδηγός προσδιορίζει κάποιους δείκτες και παράγοντες αξιοπιστίας που μπορούν να εφαρμοστούν σε δίκτυα διανομής, υποσταθμούς και κυκλώματα.

Πρότυπα ποιότητας ρεύματος

Η εξαγωγή ορίων αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος προϋποθέτει γενικά τη γνώση της αρμονικής σύνθετης αντίστασης του δικτύου, Z_h . Η διαδικασία εκτίμησης της Z_h είναι γενικά επίπονη και δικαιολογείται μόνο για μεγάλες σχετικά εγκαταστάσεις. Στην περίπτωση των δικτύων XT, λόγω του μεγάλου πλήθους και μικρού κατά κανόνα μεγέθους των συσκευών που συνδέονται σε αυτά, δεν είναι εφικτή η ειδική κατά περίπτωση εξέταση της προκαλούμενης παραμόρφωσης της τάσης. Αντίθετα, για λόγους ευχέρειας εξέτασης οι σχετικοί κανονισμοί IEC έχουν θεσπίσει όρια για τον απ' ευθείας έλεγχο της αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος εξόδου τους (τα οποία προκύπτουν θεωρώντας ένα «πρότυπο» δίκτυο XT και ισχύουν για διατάξεις μικρής μόνο ισχύος). Ειδική ανά περίπτωση εξέταση των επιπτώσεων στην αρμονική παραμόρφωση της τάσης προβλέπεται από τους κανονισμούς για μεγάλες σχετικά συσκευές και διατάξεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πρότυπα ορίων των εκπομπών αρμονικών ρεύματος για εγκαταστάσεις παραγωγής που συνδέονται στα δίκτυα XT, ανάλογα με το μέγεθός τους.

Τα σημαντικότερα πρότυπα που προσδιορίζουν τα κύρια χαρακτηριστικά του ρεύματος συσκευών συνδεδεμένων στη χαμηλή τάση είναι τα ακόλουθα :

- EN 61000-3-2:2000 (IEC 61000-3-2:2000)

Όρια για αρμονικές εκπομπές του ρεύματος (εφαρμόζεται σε εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα έως 16 A ανά φάση)

Το πρότυπο κατατάσσει τις συσκευές σε 4 Κλάσεις: Η Κλάση A είναι γενικής εφαρμογής και αφορά όλες τις συσκευές, εκτός εκείνων που κατατάσσονται στις άλλες κλάσεις. Η Κλάση B αφορά τα φορητά εργαλεία, η Κλάση Γ τις συσκευές φωτισμού και η Κλάση Δ τις συσκευές των οποίων η ένταση μεταβάλλεται βηματικά, με ορισμένη μορφή που καθορίζεται στο Πρότυπο. Τα όρια της Κλάσεως A είναι τα αυστηρότερα και αφορούν κυρίως τις διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος, μέσω των οποίων γίνεται η σύνδεση των συσκευών με το δίκτυο. Οι απαιτήσεις αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 3, ο οποίος δίνει τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των αρμονικών του ρεύματος εξόδου.

Πίνακας 4: Specifications (d)

Όρια αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος εξόδου για εξοπλισμό ΧΤ με ονομαστικό ρεύμα ≤ 16 A/φάση			
Περιττές αρμονικές		Άρτιες αρμονικές	
Τάξη <i>h</i>	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση (A)	Τάξη <i>h</i>	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση (A)
3	2.30	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.30
9	0.40	$8 \leq h \leq 40$	$(0.23 \cdot 8)/h$
11	0.33		
13	0.21		
$15 \leq h \leq 3$	$(0.15 \cdot 15)/h$		

- EN 61000-3-3:1995/A1:2001 (IEC 61000-3-3:1994/ A1:2001)

Όρια και περιορισμοί των διακυμάνσεων της τάσης και του flicker στη χαμηλή τάση του συστήματος διανομής που προκαλούνται από εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα έως 16 A ανά φάση.

- EN 61000-3-11:2000 (IEC 61000-3-11:2000)

Όρια και περιορισμοί των διακυμάνσεων της τάσης και του flicker στη χαμηλή τάση του συστήματος διανομής που προκαλούνται από εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα έως 75 A ανά φάση.

- IEC/TS 61000-3-4 (1998-10)

Όρια και περιορισμοί των αρμονικών του ρεύματος στη χαμηλή τάση του συστήματος διανομής που προκαλούνται από εξοπλισμό με ονομαστικό ρεύμα μεγαλύτερο από 16 A.

Ο παρακάτω πίνακας για σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής σε σημεία του δικτύου εφαρμόζεται υπό την προϋπόθεση ότι ο λόγος βραχυκύκλωσης είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 33 ($R_k \geq 33$). Αν η προϋπόθεση αυτή δεν τηρείται δίνονται άλλοι πίνακες.

Πίνακας 5: Specifications (e)

Όρια αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος εξόδου για εξοπλισμό ΧΤ με ονομαστικό ρεύμα μεταξύ 16 και 75 A ανά φάση.			
Τάξη <i>h</i>	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση I_h/I_{In} %	Τάξη <i>h</i>	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση I_h/I_{In} %
3	21.6	21	≤ 0.6
5	10.7	23	0.9
7	7.2	25	0.8
9	3.8	27	≤ 0.6
11	3.1	29	0.7
13	2	31	0.7
15	0.7	≥ 33	≤ 0.6
17	1.2	Άρτιες	$\leq 8/h$ ή ≤ 0.6
19	1.1		

I_I : Θεμελιώδης συνιστώσα ονομαστικού ρεύματος
 I_h : Αρμονική συνιστώσα τάξης *h* του ρεύματος

Για εξοπλισμό που συνδέεται στη χαμηλή τάση και έχει ονομαστικό ρεύμα άνω των 75 A ανά φάση, ισχύουν τα κάτωθι όρια αρμονικών εκπομπών:

Πίνακας 6: Specifications (f)

Ανηγγμένα όρια αρμονικών του ρεύματος ανά MVA ισχύος βραχυκύκλωσης του δικτύου, για εξοπλισμό XT ονομαστικού ρεύματος άνω των 75 A ανά φάση	
Τάξη h	Όριο αρμονικών του ρεύματος, L_h (A/MVA)
5	2.6
7	1.6
11	1.0
13	0.7
17	0.4
19	0.25
23	0.2
25	0.18
h άρτιος ή $h = 3k$ ή $h > 25$	$1/h$

- IEC/TR2 61000-3-5-Ed.1.0
IEC/TR3 61000-3-6 (1996)

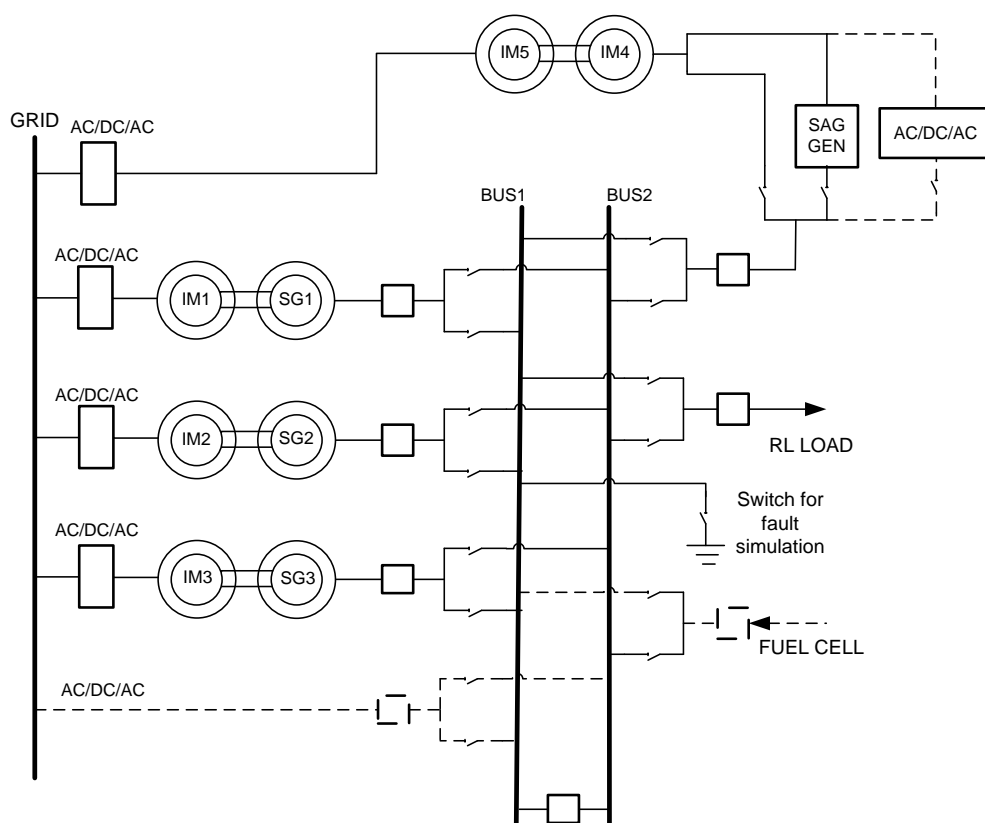
Κάνει αποτίμηση των ορίων για φορτία που επιβαρύνουν με διαταραχές το δίκτυο στη μέση και χαμηλή τάση και απαιτείται η συγκατάθεση των αρμόδιων αρχών για να συνδεθούν σε αυτό.

- prEN 50373:2003
Ανεμογεννήτριες – Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα

Κεφάλαιο 5ο Πειραματική διάταξη εργαστηρίου

Στοιχεία γενικής αρχιτεκτονικής

Στο πλαίσιο του project MARINELIVE, αναπτύχθηκε στην σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ ένας εξομοιωτής ηλεκτρικού δικτύου πλοίου (grid emulator). Η σχεδίαση και υλοποίηση του emulator πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία του ΕΜΠ με την εταιρεία "Protasis SA", η οποία επέβλεψε όλα τα στάδια από την έναρξη μέχρι και την ολοκλήρωση του emulator. Επί της ουσίας, αποτελεί ένα AC τριφασικό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει τμήματα παραγωγής (Generation), διαταραχών (Distribution), κατανάλωσης (Consumption), προστασιών (Protection), όπως επίσης και ένα υποσύστημα εποπτείας και επίβλεψης της λειτουργίας του (Supervising Monitoring-Control sub-system). Μια απλοποιημένη μονογραμμική απεικόνιση του emulator φαίνεται παρακάτω, στην οποία οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν μελλοντικές εγκαταστάσεις στο δίκτυο.



Εικόνα 24: Experimental Setup

Το υποσύστημα παραγωγής ισχύος αποτελείται από τρεις σύγχρονες γεννήτριες, δύο από τις οποίες έχουν προδιαγραφές 5.9 kVA/400V/50Hz/pf=0.8 και μία των 5 kVA/400V/50Hz/pf=0.8. Η εγκατάσταση μιας κυψέλης καυσίμων (NEXA K00-792 complete model with incorporated DC load and monitoring system) είναι προγραμματισμένη για το εγγύς μέλλον. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι γεννήτριες βρίσκονται στη χαμηλή τάση (400 V), γίνεται αντιληπτό ότι η ύπαρξη μετασχηματιστών θεωρείται περιττή.

Επαγωγικοί κινητήρες, οι οποίοι τροφοδοτούνται από το τοπικό δίκτυο μέσω AC/DC/AC converters, έχουν το ρόλο του "οδηγού" για κάθε μια γεννήτρια. Η τάση εξόδου των γεννητριών ρυθμίζεται μέσω των AVR's (Automatic Voltage Regulators, του οίκου BASLER).

Τα φορτία του συστήματος αποτελούνται από ένα παθητικό RL φορτίο και έναν τριφασικό επαγωγικό κινητήρα. Ως σύνολο, ο κινητήρας μαζί με τους AC/DC/AC converters μπορούν να προσομοιώσουν διάφορα μηχανικά μεταβλητά φορτία π.χ. προπέλες.

Το υποσύστημα διαταραχών περιλαμβάνει μια sag generator (Power Quality event generator) η οποία αποκτήθηκε από την εταιρεία PSL(Power Standards Laboratory - USA). Είναι ένα μοντέλο *IPC-480V/200A* το οποίο συνδέεται εν σειρά με το δίκτυο και η λειτουργία του προγραμματίζεται/προκαθορίζεται από το αντίστοιχο λογισμικό μέσω του οποίου ρυθμίζονται, πυροδοτούνται και καταγράφονται τα συμβάντα ποιότητας ισχύος.

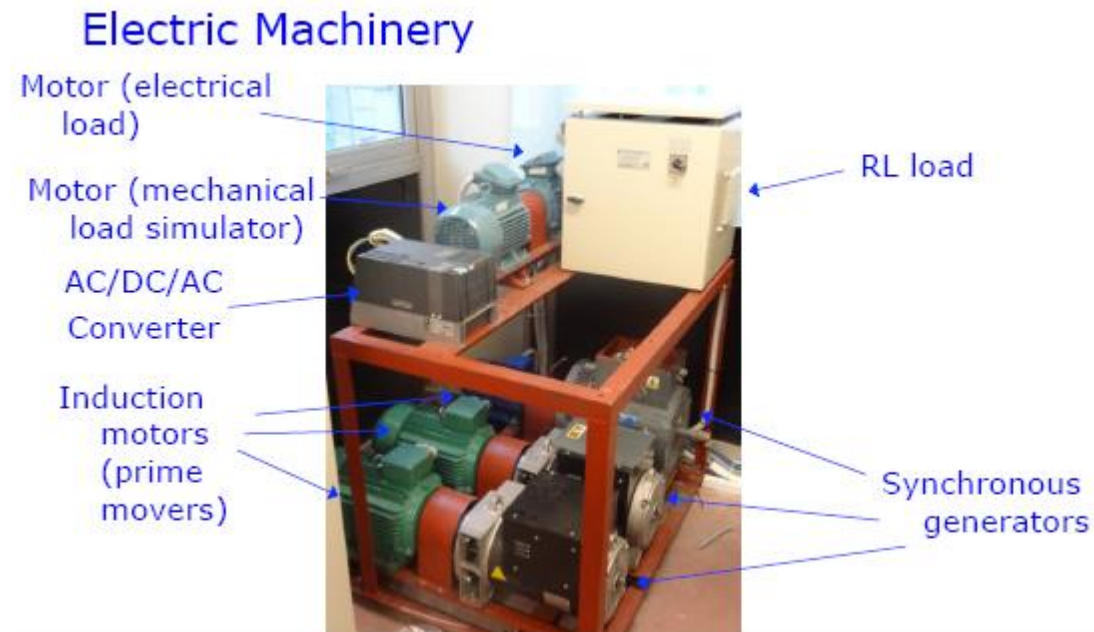
Συγκεντρωτικά τα στοιχεία του emulator παραθέτονται στον εξής πίνακα:

Πίνακας 7: Experimental Specifications

Generator sets	2 sets of 3-phase 400V/50 Hz/5.9 kW/pf=0.8 ind. (Manufacturer Focquet/Belgium, type FB4SA) 1 set of 3-phase 400V/50 Hz/5.0 kW/pf=0.8 ind. (Manufacturer GENCO /UK, type: RF201A) Associated Automatic Voltage regulators: AVR's (Manufacturer BASLER/USA-France: DECS-100)
Motor load:	AC induction Motor + Brake: 3kW (Manufacturer Focquet/Belgium, type MF3A4) Power electronic converter for braking: Siemens G120/5.5 kW/400V/50 Hz/ 4 quadrant)
R-L Passive Load	Three-phase, 400 V/50 Hz/4.8 kW+2 kVAr scalable in 3 steps

	(Customized design commissioned by RITA transformers)
Power Quality Event Generator	IPC-480 V/200A (manufacturer Power Standards Laboratory-PSL (USA))
Protection Scheme – Main components	SEL-700G generator protection SEL-751 A feeder protection SEL-710 Motor protection SEL-487B Bus differential relays SEL-2407 GPS Clock Manufacturer: SEL/USA
Fuel Cell Unit	NEXA K00-792 complete model with incorporated DC load and monitoring system Manufacturer : “Heliocentris Energie Systeme GmbH” – Germany

Ενώ οπτικά έχουν ως εξής:



Εικόνα 25: Electric Machinery

Low Voltage Network Panel & Bus Differential Panel



- Generator protection relays (SEL-700G)
- Feeder protection relays (SEL-751A)
- Motor protection relays (SEL-710)
- Bus Differential relays (SEL-487B)
- GPS Clock (SEL-2407)

Εικόνα 26: Network & Protection

Central Control Unit Panel

- Inverters
- Generator AVR
- Generator controllers (SEL-2411)
- Central Control Unit (SEL-3530)



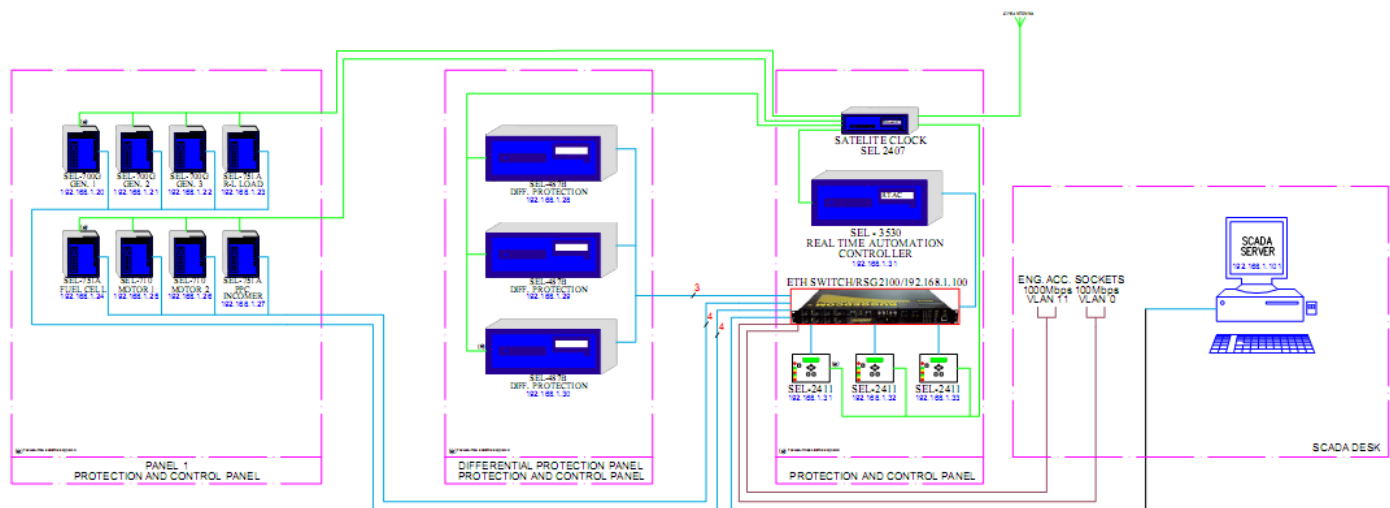
Εικόνα 27: Control Panel Unit

Διαχείριση ηλεκτρικής ισχύος, σύστημα ελέγχου EPMACS

Με σκοπό τον έλεγχο και την παρακολούθηση του emulator, χρησιμοποιείται το σύστημα Electric Power Management And Control System (EPMACS), το οποίο δρα σε άμεση συνεργασία με το σύστημα προστασίας. Το σύστημα προστασίας το οποίο προέρχεται από την εταιρεία SEL εμπεριέχει πλήθος από ρελέ προστασίας (protection relays) και ζυγό διαφορικής προστασίας. Μέρος των λειτουργιών των ψηφιακών ρελέ προστασίας είναι και η τηλεμέτρηση μεγεθών.

Όπως υπαγορεύει το πρότυπο IEC-61580, όλες οι δυνατές μετρήσεις συγκεντρώνονται από το σύστημα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) που διαθέτει ο emulator. Το δίκτυο δεδομένων (data network), στο οποίο το SCADA επιδρά, αποτελείται από τους ψηφιακούς ρελέ προστασίας, την κεντρική "τράπεζα" χειρισμού ETHSW (central Managed Ethernet Switch), έναν αυτόματο ελεγκτή πραγματικού χρόνου RTAC (Real Time Automation Controller) και το κεντρικό σύστημα H/Y.

Μια σχηματική απεικόνιση της παραπάνω διαδικασίας είναι η εξής:



Εικόνα 28: Ethernet network

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, όλα τα relays είναι συνδεδεμένοι ακτινικά με το ETHSW μέσω ενός ενσύρματου δικτύου(Ethernet network) τύπου 100Mbps - UTP Cat6. Οι λειτουργίες του δικτύου δεδομένων είναι:

- Τηλεμέτρηση και τηλεχειρισμός των δεδομένων που συλλέγονται (IEC-61850.MMS protocol).

- Ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα στα relays αλλά και μεταξύ των relays και του RTAC (IEC61850.Goose protocol).
- Διαμόρφωση των δεδομένων που επεξεργάζονται τα relays, ύστερα από την καταγραφή κάποιου συμβάντος (TELNET & FTP protocol).

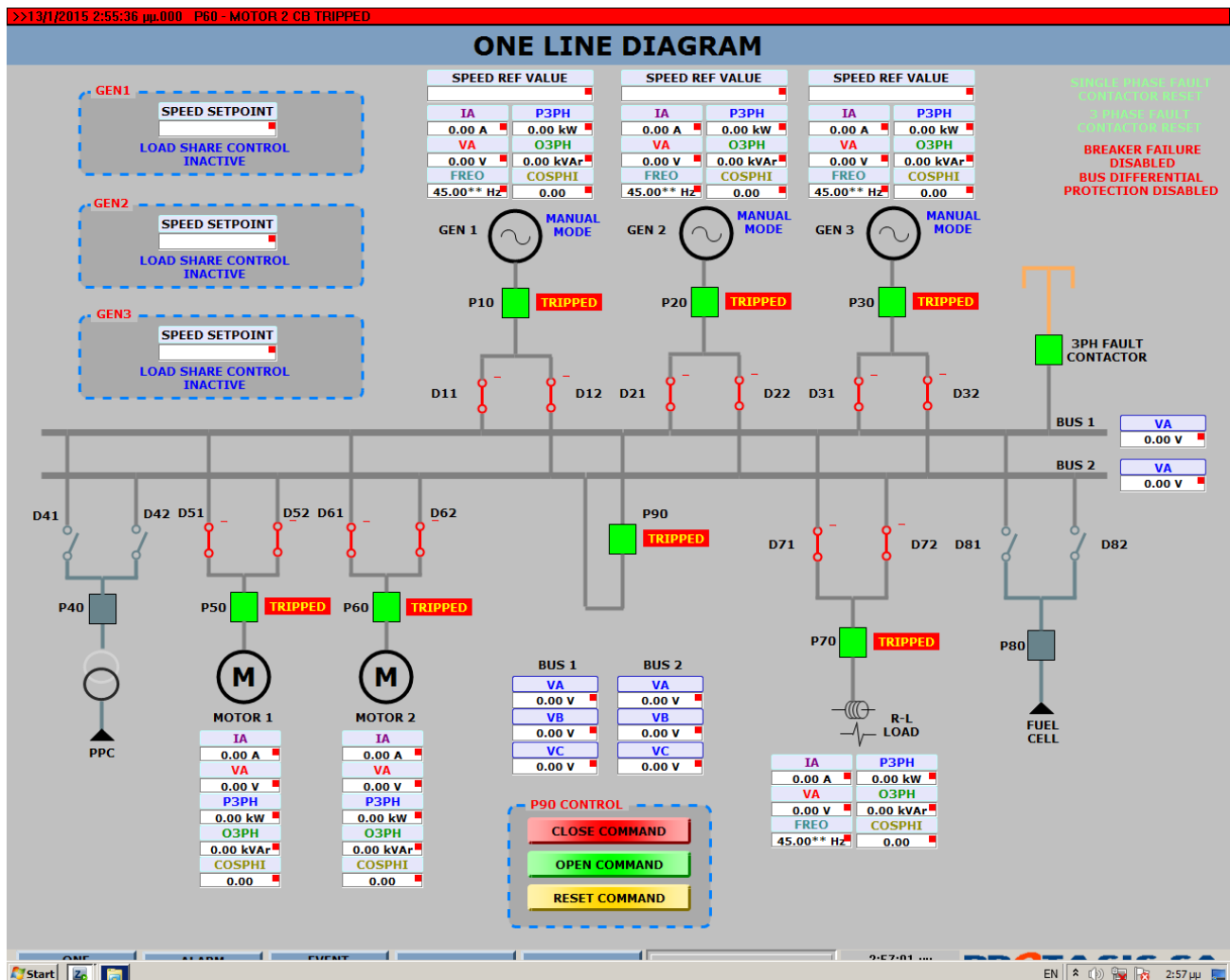
Στο δίκτυο δεδομένων περιλαμβάνεται επίσης ένα GPS ρολόι, το οποίο διανέμει το σήμα του χρόνου σε όλες τις συσκευές του δικτύου (IRIG-B00x protocol).

Μέσω του interface HMI (Human-Machine Interface) του συστήματος SCADA παρέχονται μεταβλητές δυνατότητες όπως:

- Close/Trip circuit breakers
- Close/Trip disconnectors
- Automated commands
- Increase/Decrease Step on Inverters (e.g. frequency control, active power sharing)

Η αρχική ένδειξη της οθόνης του HMI είναι ένα μονογραμμικό σχέδιο του δικτύου. Είναι μια "δυναμική" εικόνα με την έννοια ότι προσφέρει σημαντικές πληροφορίες της εκάστοτε κατάστασης του δικτύου. Οι συγκεκριμένες πληροφορίες προέρχονται από τους ψηφιακούς relays και τις συσκευές ελέγχου.

Μια απεικόνιση του HMI είναι η εξής :



Εικόνα 29: SCADA Interface

Διαθέσιμες μετρήσεις του HMI είναι :

- Voltages/Currents
- Active/Reactive Power (in or out a grid component)
- Cosφ
- Energy
- Event/Alarm list

Όλες οι μετρήσεις αποθηκεύονται ανά χρονικό διάστημα ενός λεπτού στην βάση δεδομένων του HMI και μπορούν να εξαχθούν είτε ως αρχεία τύπου CSV (Comma Separated Values) είτε σε κάποια άλλη βάση δεδομένων SQL για περαιτέρω επεξεργασία μέσω κάποιου άλλου λογισμικού.

Ανάλυση sag generator

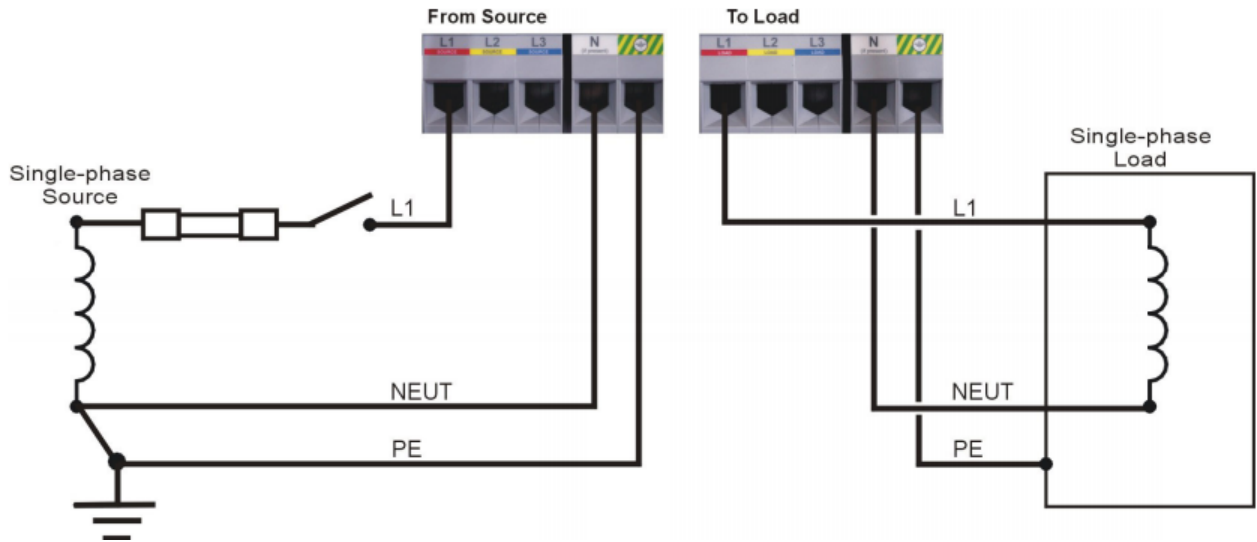


Εικόνα 30: Sag Generator

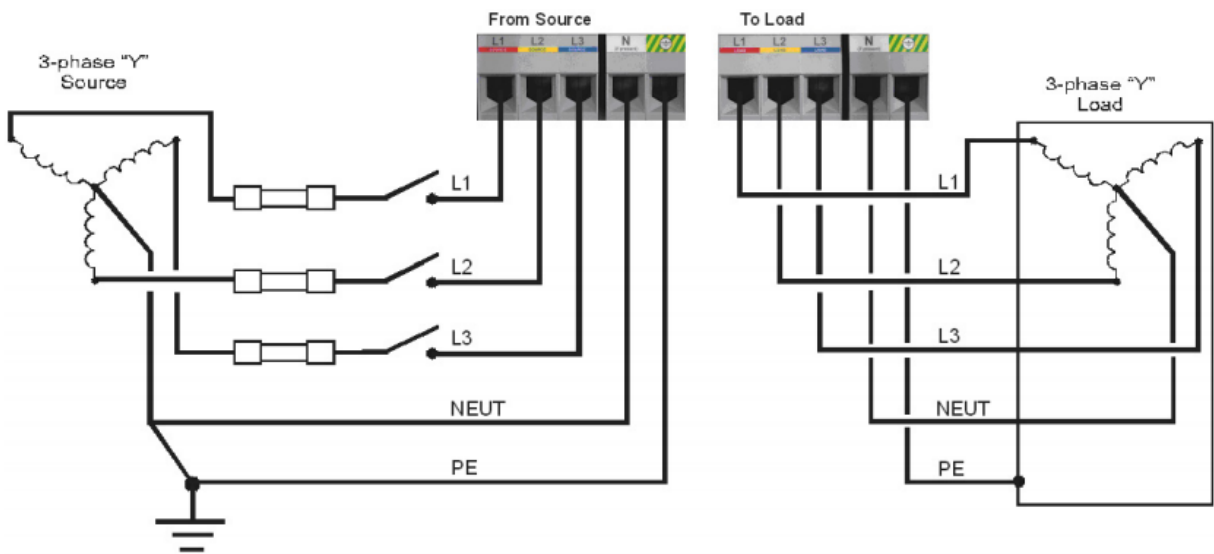
Η sag generator ανήκει στην "οικογένεια" συσκευών της IPC (Industrial Power Corruptor). Σκοπός της ύπαρξης των παραπάνω συσκευών είναι η παραγωγή κακής ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος (διαταραχών). Ο τρόπος λειτουργίας της περιγράφεται ως εξής. Ισχύς η οποία προέρχεται από μια "καθαρή" πηγή (π.χ. τοπικό δίκτυο, ΔΕΗ) διαρρέει την sag generator η οποία "προσθέτει" στην συγκεκριμένη ισχύς διαταραχές (sags, swells, interruptions κ.α.). Χρησιμοποιώντας την ισχύ που λαμβάνουμε από την sag generator, έχουμε την δυνατότητα να τεστάρουμε έναν οποιονδήποτε εξοπλισμό ως προς την ευστάθεια του αλλά και να διαπιστώσουμε τα όρια ανοχής του στις διαταραχές.

Το εν λόγω μοντέλο (IPC-480 V/200A) παρέχει την δυνατότητα παραγωγής sags και swells εύρου τάσης από 0% έως 125% με διάρκεια από 1 cycle μέχρι και 30 sec.

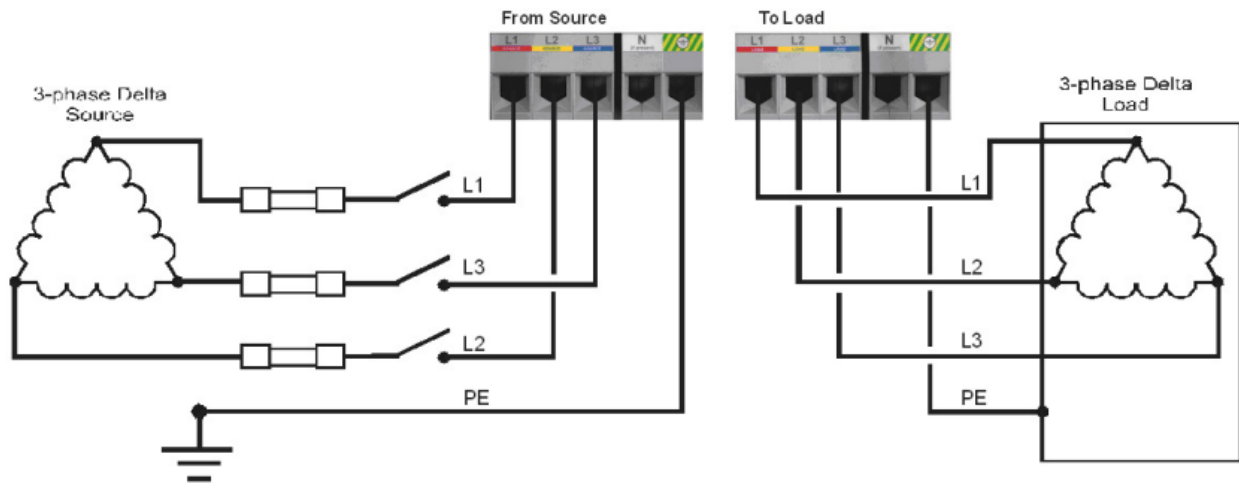
Το πίσω μέρος της sag, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, συνδέεται στο εκάστοτε δίκτυο μέσω δύο καλωδίων τύπου #2AWG (34 mm^2). Ένα συνδέεται στη πλευρά της πηγής "source" (αριστερό τμήμα) ενώ το άλλο συνδέεται στη πλευρά του φορτίου "load" (δεξιά τμήμα). Μέσω των δύο αυτών εξόδων επιτυγχάνονται όλες οι δυνατές συνδεσμολογίες της sag, με την βοήθεια "κουτιών" διασύνδεσης(junction boxes) οι οποίες είναι η μονοφασική σύνδεση(Single-phase) ο αστέρας (Three-Phase wye star) και το τρίγωνο(Three-phase delta).



Εικόνα 31: Sag Generator Connection (a)



Εικόνα 32: Sag Generator Connection (b)



Εικόνα 33: Sag Generator Connection (c)

Η συγκεκριμένη συσκευή είναι συμβατή με διάφορα πρότυπα που αφορούν τεχνικές μετρήσεων ποιότητας ισχύος όπως και αξιολογήσεις αποτελεσμάτων. Τέτοια είναι SEMI F47, SEMI E6, SEMI S23, IEC 61000-4-11, IEC 61000-4-34, SAMSUNG POWER VACCINE, FAA, MIL SPEC, CBEMA, ITIC κ.α.

Κεφάλαιο 6ο Πειραματικές μετρήσεις εργαστηριακής διάταξης

Πειραματική διαδικασία και μέθοδος μετρήσεων

Υπάρχει μεγάλο εύρος προτύπων που υπαγορεύουν μεθόδους και τεχνικές μετρήσεων ποιότητας ισχύος. Στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε το πρότυπο IEC 61000-4-11, το οποίο είναι τμήμα της σειράς προτύπων IEC που αφορούν την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα "Electromagnetic compatibility (EMC)". Το συγκεκριμένο πρότυπο προσδιορίζει μεθόδους και επίπεδα μετρήσεων που αφορούν ηλεκτρικούς/ηλεκτρονικούς εξοπλισμούς συνδεδεμένους σε δίκτυα χαμηλής τάσης. Βασική προϋπόθεση της εφαρμογής του 61000-4-11 είναι το γεγονός ότι η τιμή του ρεύματος φάσης οφείλει να ισοδυναμεί περίπου με 16 A, για AC διατάξεις είτε των 50 Hz είτε των 60 Hz. Για τιμές ρευμάτων αισθητά μεγαλύτερες των 16 A, το πρότυπο που είναι πληρέστερο διαθέτοντας τα κατάλληλα μετρητικά sets είναι το IEC 61000-4-34, το οποίο εμπεριέχει παρόμοιες μεθόδους και τεχνικές με εκείνες του IEC 61000-4-11. Σκοπός και των δύο παραπάνω προτύπων είναι η εξακρίβωση της ανθεκτικότητας/αντοχής/ατρωσίας κάποιου εξοπλισμού όπως και η διαπίστωση των ορίων λειτουργίας και αντοχών του. Για τον παραπάνω λόγο υπάρχει και μια ειδικότερη κατηγοριοποίηση ανάμεσα σε 4 κλάσεις (Performance Criteria), λαμβάνοντας υπόψη του "αντίδραση" ενός εξοπλισμού στα συμβάντα που υπόκειται, οι οποίες λειτουργούν ως ένα γενικότερο πλαίσιο αξιολόγησης. Οι κλάσεις είναι οι εξής:

Κλάση A

Λειτουργία της οποίας η απόδοση εντοπίζεται εντός των ορίων των προδιαγραφών.

Κλάση B

Προσωρινή υποβάθμιση λειτουργίας, η οποία αυτοαποκαθίσταται ύστερα από ορισμένο χρονικό διάστημα.

Κλάση C

Προσωρινή υποβάθμιση λειτουργίας που απαιτεί παρέμβαση του χειριστή.

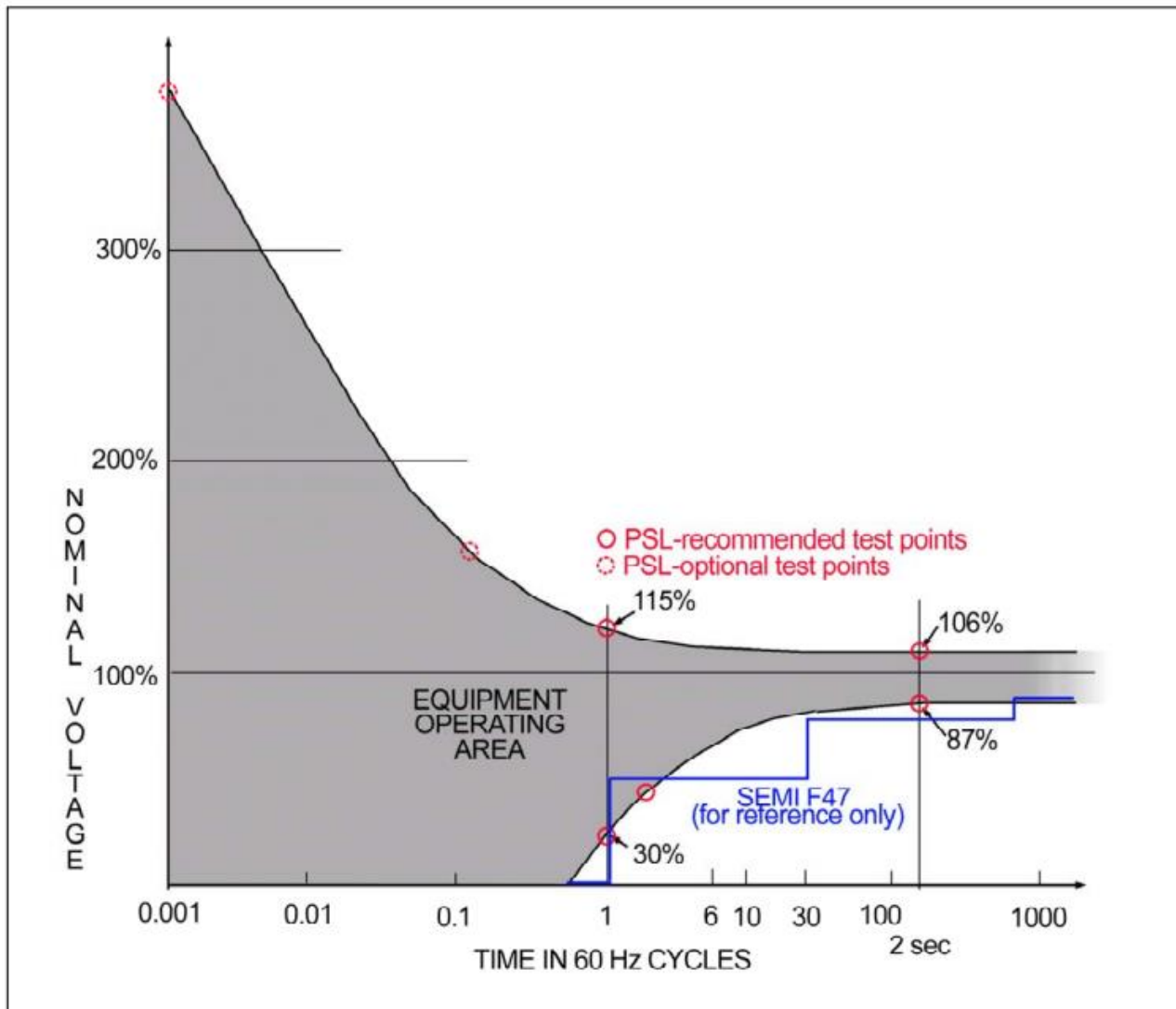
Κλάση D

Απώλεια λειτουργίας η οποία είναι μη αντιστρέψιμη.

Η τελική επιλογή του συνόλου των μετρητικών sets που πραγματοποιήθηκαν, προήλθε κατά βάση από την καμπύλη CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers

Association) η οποία είναι άμεσα συνυφασμένη με τα παραπάνω πρότυπα IEC (61000-4-11,61000-4-34) αλλά και με το πρότυπο SEMI F47. Η εν λόγω καμπύλη(η οποία συνίσταται από την κατασκευάστρια εταιρεία της sag generator, PSL) δεν προοριζόταν εξ αρχής για να έχει ρόλο πειραματικού προτύπου παρά μόνον εκείνον ενός απλού περιγραφικού δεδομένου που αφορούσε αποκλειστικά μονοφασικό εξοπλισμό των 120 V και 60 Hz. Παρόλα αυτά, η ανάγκη για συνύπαρξη διάφορων πειραματικών γεγονότων ποιότητας ισχύος στο ίδιο πρότυπο οδήγησε τελικά στην αποδοχή της καμπύλης CBEMA ως ένα τέτοιο test standard.

Όπως φαίνεται και παρακάτω η καμπύλη CBEMA χωρίζεται σε περιοχές, την αποδεκτή περιοχή(όπου τα αντίστοιχα μεγέθη δεν έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στους εξοπλισμούς) και την μη αποδεκτή(συνθήκες επίφοβες για εξοπλισμούς).



Εικόνα 34: CBEMA Curve

Τα προτεινόμενα testing points με βάση την PSL είναι τα εξής:

- 30% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 1 cycle.
- 40% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 50 msec.
- 87% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 2 sec.
- 106% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 2 sec.
- 115% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 1 cycle.

Στην παραπάνω λίστα προστέθηκαν και ορισμένες πειραματικές δοκιμές του προτύπου SEMI F47 αποσκοπώντας σε λεπτομερέστερα πειραματικά αποτελέσματα. Να σημειωθεί επίσης, το μοναδικό testing point το οποίο είναι κοινό και για τα δύο πρότυπα είναι εκείνο που αφορά την βύθιση 40% της ονομαστικής τάσης διάρκειας 50 msec.

Συνοψίζοντας, τα πειραματικά testing points που πραγματοποιήθηκαν στον πειραματικό εξοπλισμό είναι τα εξής:

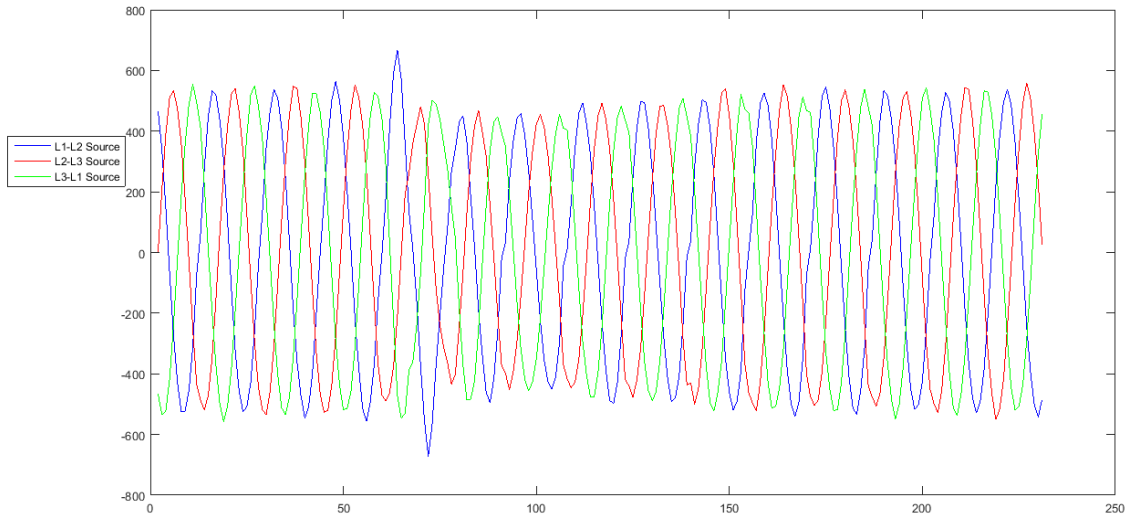
1. 30% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 1 cycle
2. 40% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 50 msec
3. 60% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 10 cycles
4. 60% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 15 cycles
5. 60% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 20 cycles
6. 70% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 10 cycles
7. 70% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 15 cycles
8. 70% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 20 cycles
9. 87% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 2 sec
10. 106% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 2 sec
11. 115% της ονομαστικής τάσης, διάρκειας 13 cycles

Κοινό σημείο όλων των πειραματικών μετρήσεων ήταν το γεγονός ότι πραγματοποιήθηκαν μεταξύ δύο ίδιων φάσεων (L1-L2). Μετά το πέρας κάθε πειραματικής μέτρησης, τα αποτελέσματα καταγράφονταν γραφικά στην sag generator και έπειτα εξάγονταν ως στοιχεία πινάκων σε H/Y μέσω αντίστοιχου λογισμικού (PSL ChannelScopeII 3.0.8) της κατασκευάστριας εταιρείας για περαιτέρω μελέτη και αξιολόγηση. Παρακάτω αναπαρίστανται τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων ως κυματομορφές με την βοήθεια της Matlab.

Πειραματικές βυθίσεις

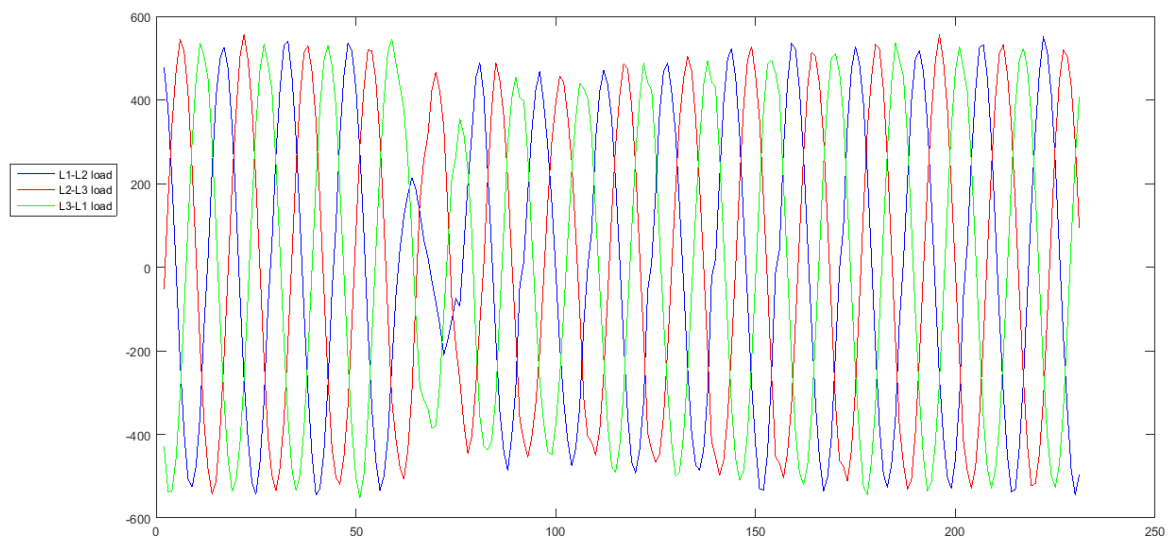
- 30% V_n , 1 cycle

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



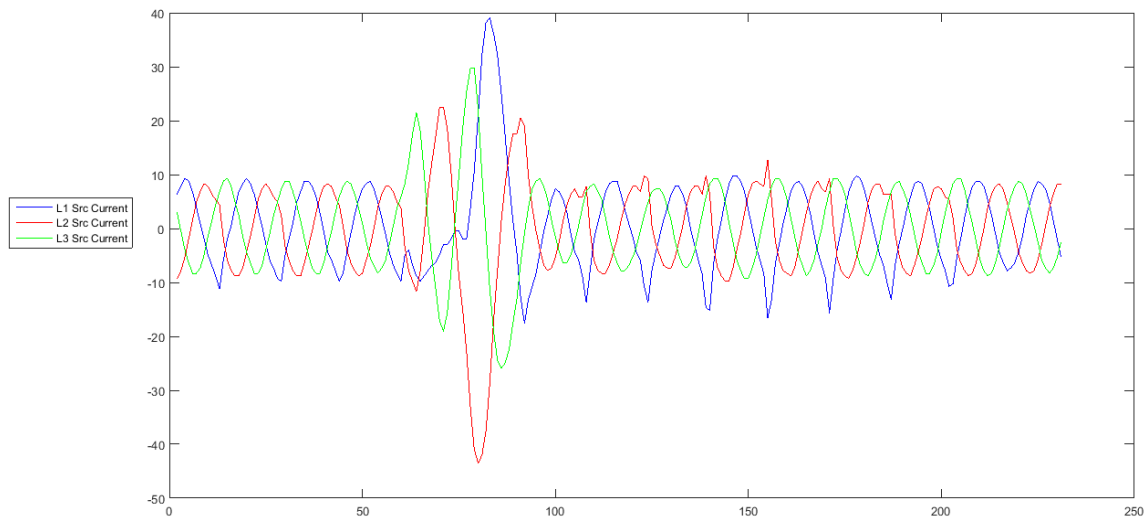
Εικόνα 35: Source Voltages (30% V_n , 1Cycle, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



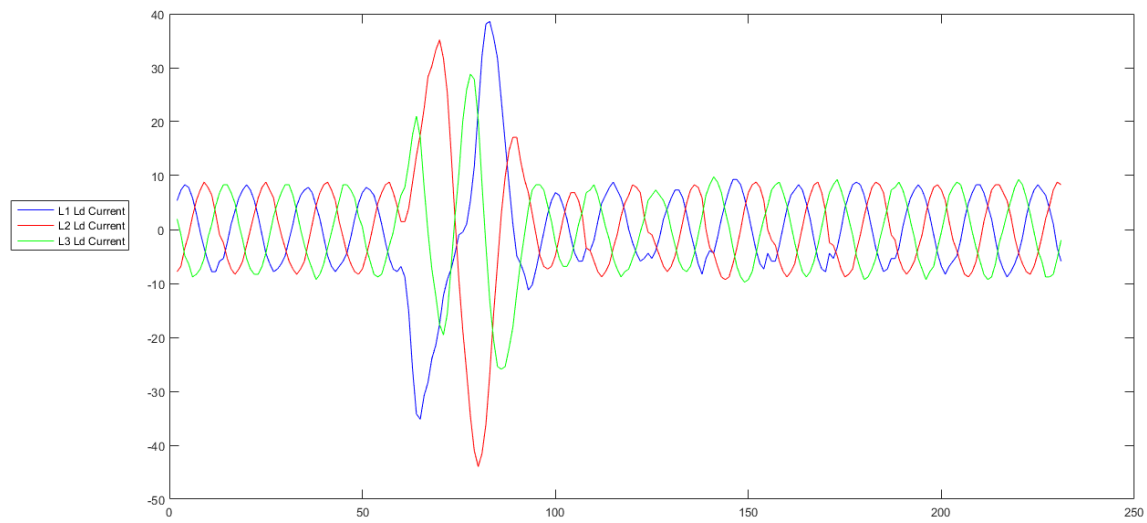
Εικόνα 36: Load Voltages (30% V_n , 1Cycle, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 37: Source Currents (30%Vn, 1Cycle, Experimental)

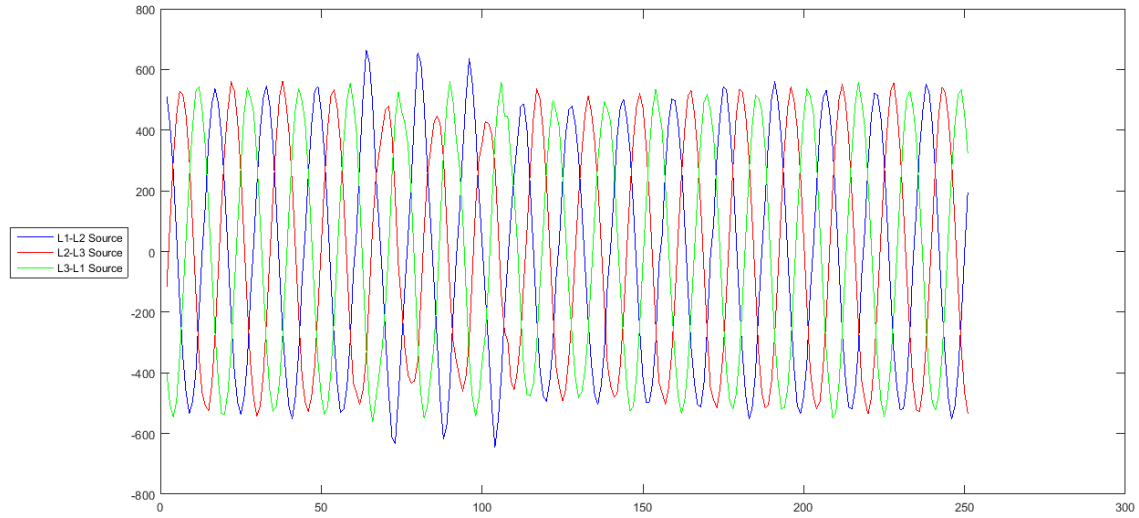
Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 38: Load Currents (30%Vn, 1Cycle, Experimental)

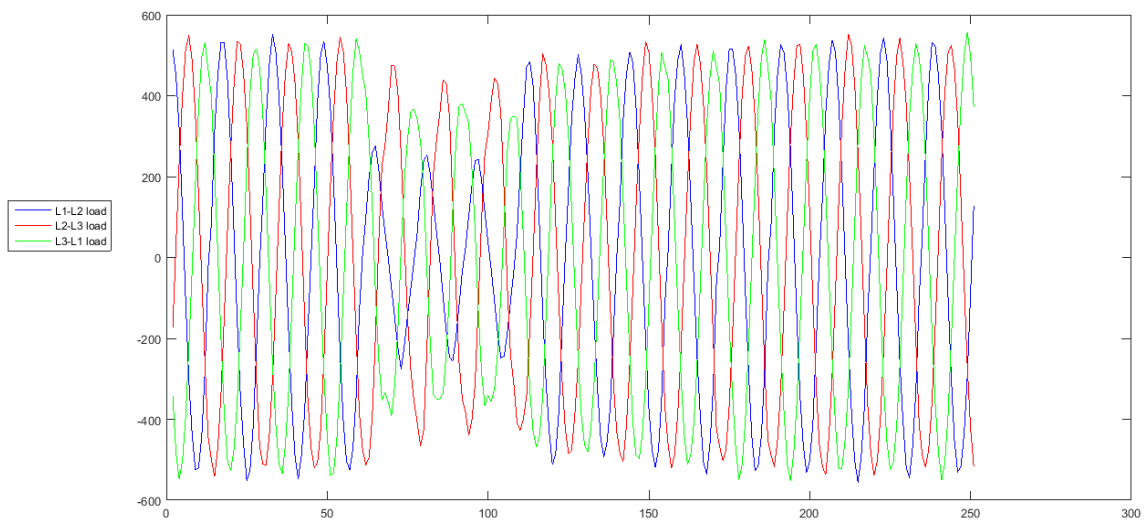
- 40% V_n , 50 msec

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



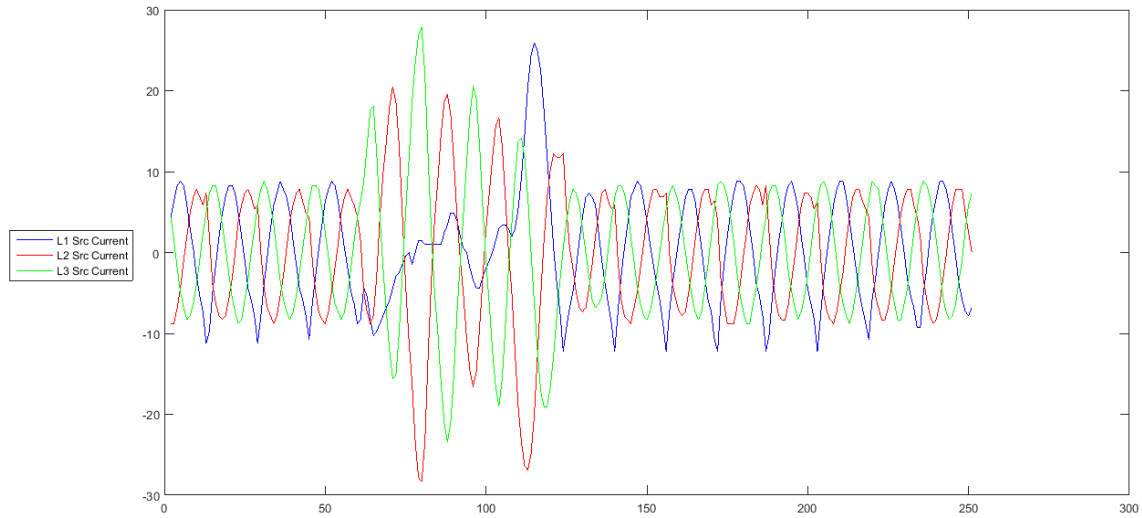
Εικόνα 39: Source Voltages (40% V_n , 50msec, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



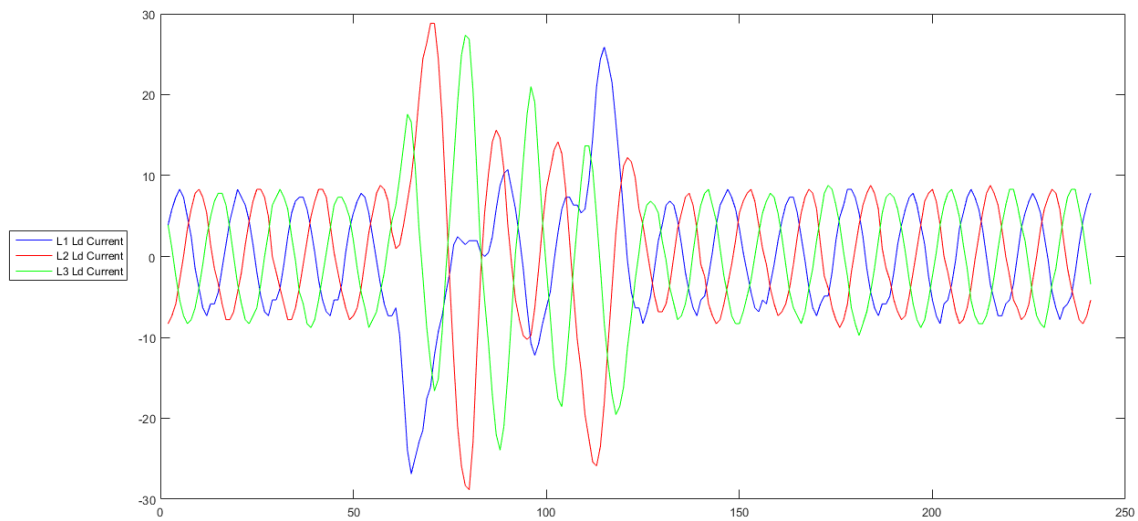
Εικόνα 40: Load Voltages (40% V_n , 50msec, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 41: Source Currents (40%Vn, 50msec, Experimental)

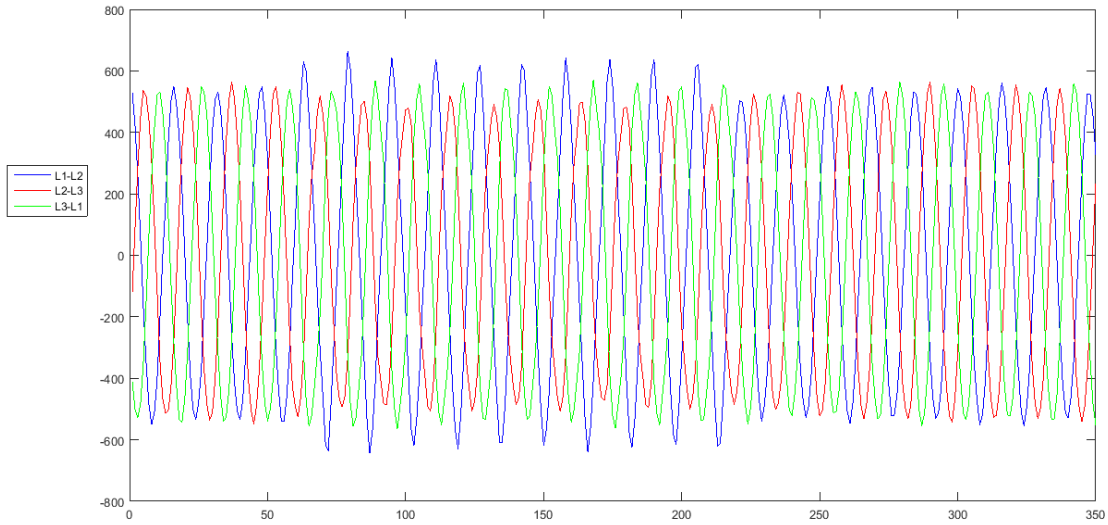
Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 42: Load Currents (40%Vn, 50msec, Experimental)

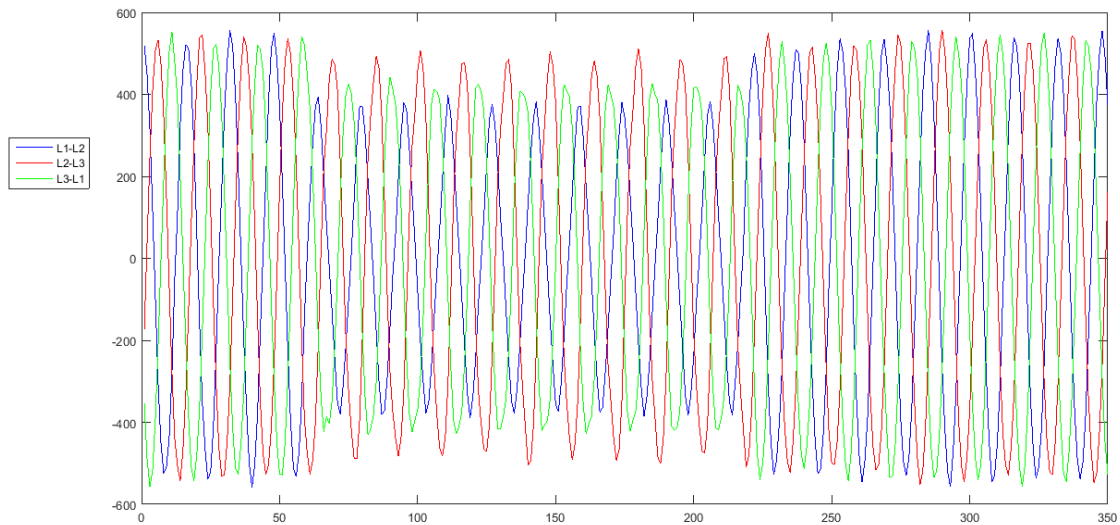
- 60% V_n , 10 cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



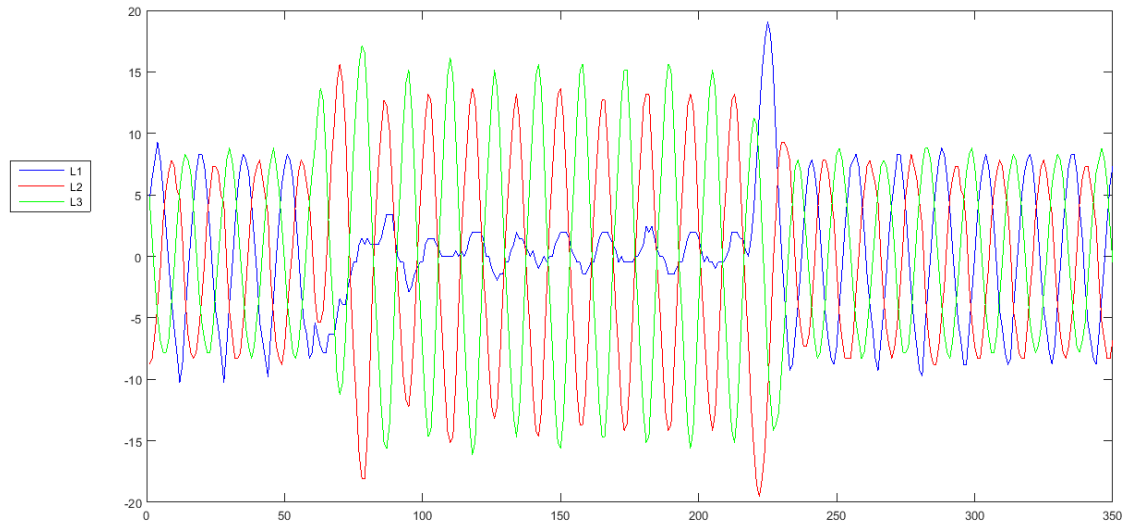
Εικόνα 43: Source Voltages (60% V_n , 10cycles, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



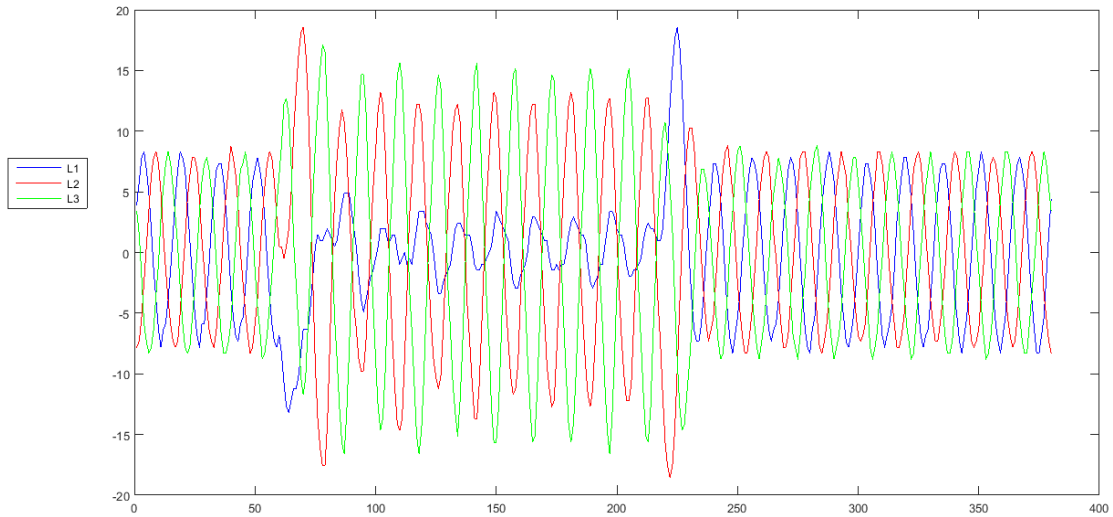
Εικόνα 44: Load Voltages (60% V_n , 10cycles, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 45: Source Currents (60%Vn, 10cycles, Experimental)

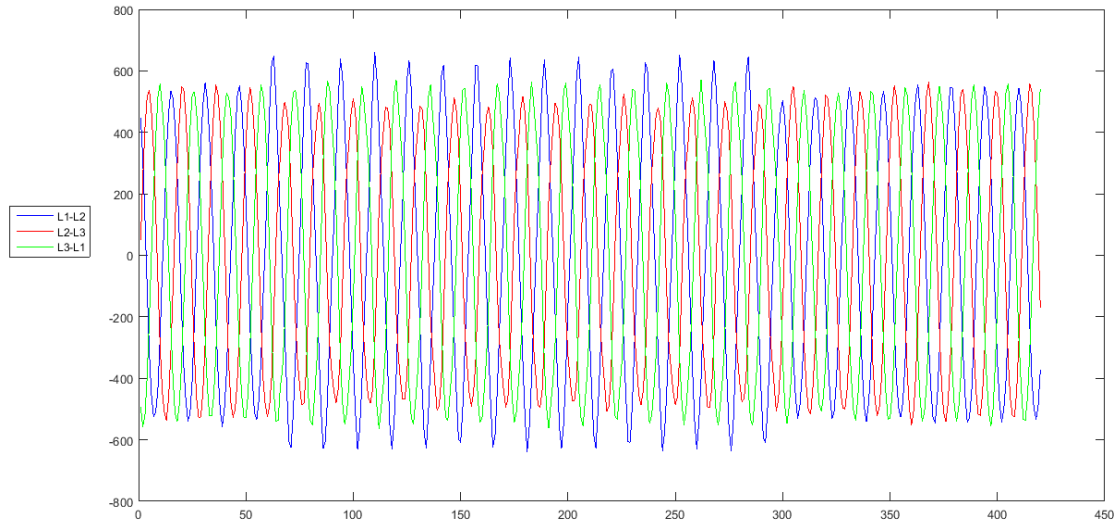
Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 46: Load Currents (60%Vn, 10cycles, Experimental)

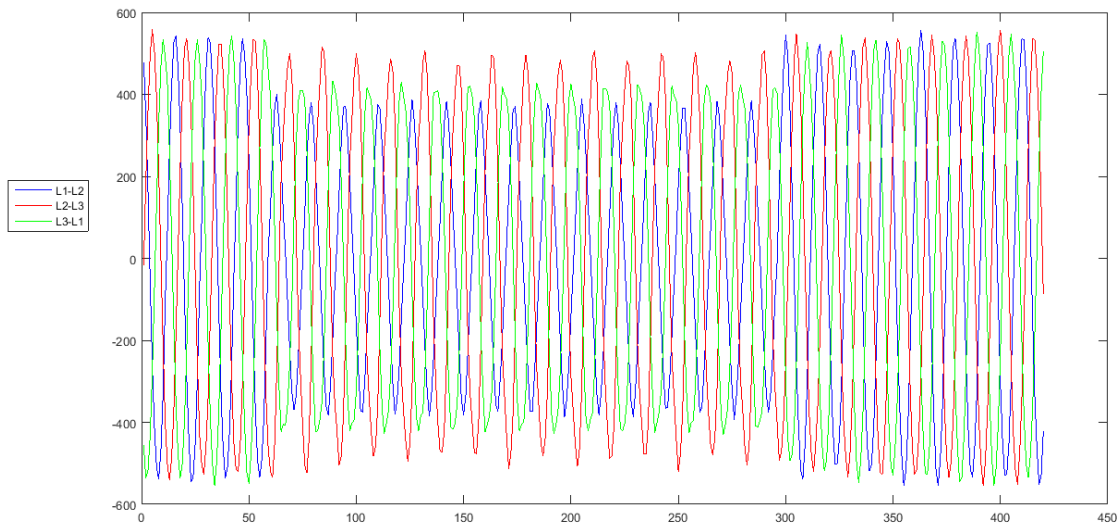
- 60% V_n , 15 cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



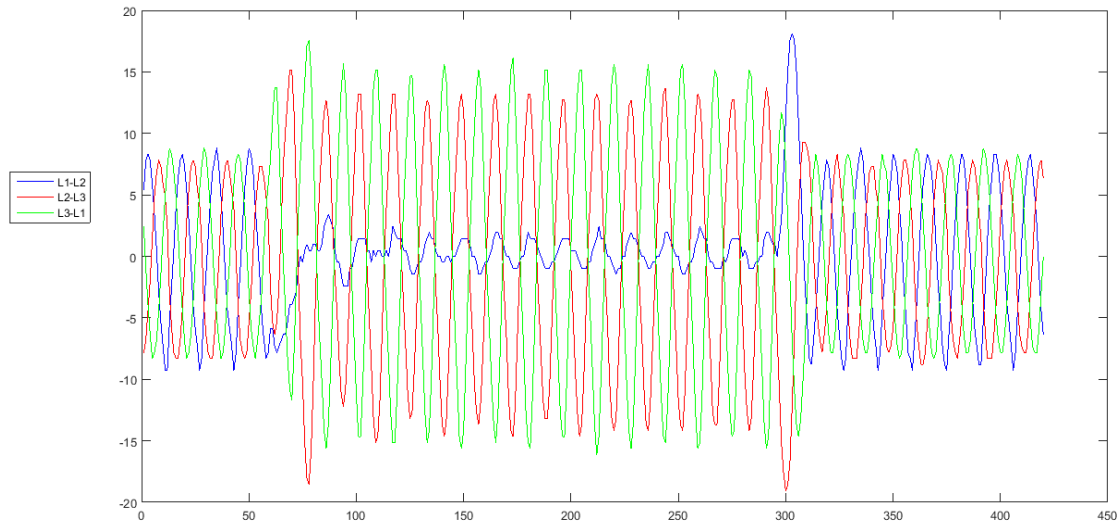
Εικόνα 47: Source Voltages (60% V_n , 15cycles, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



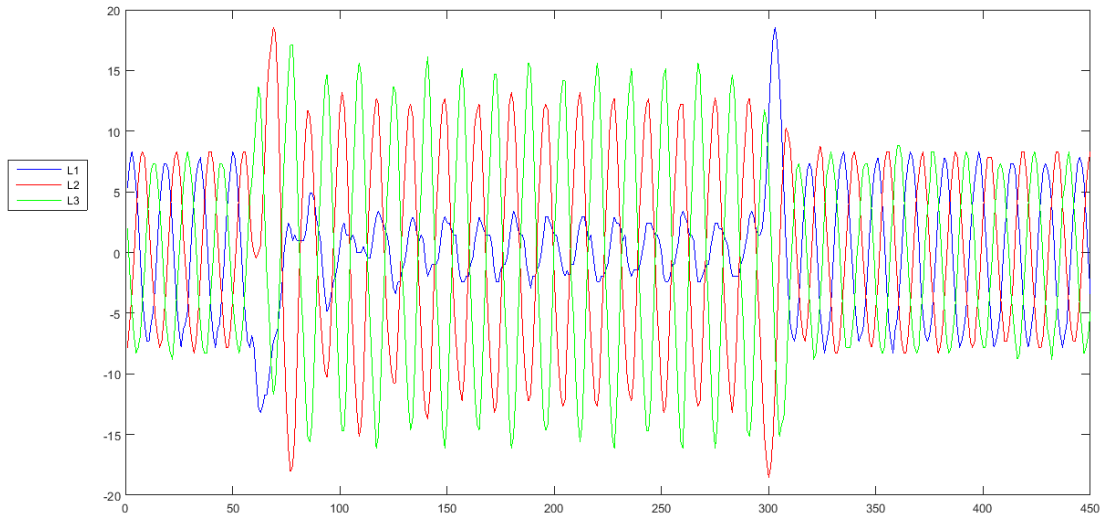
Εικόνα 48: Load Voltages (60% V_n , 15cycles, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 49: Source Currents (60%Vn, 15cycles, Experimental)

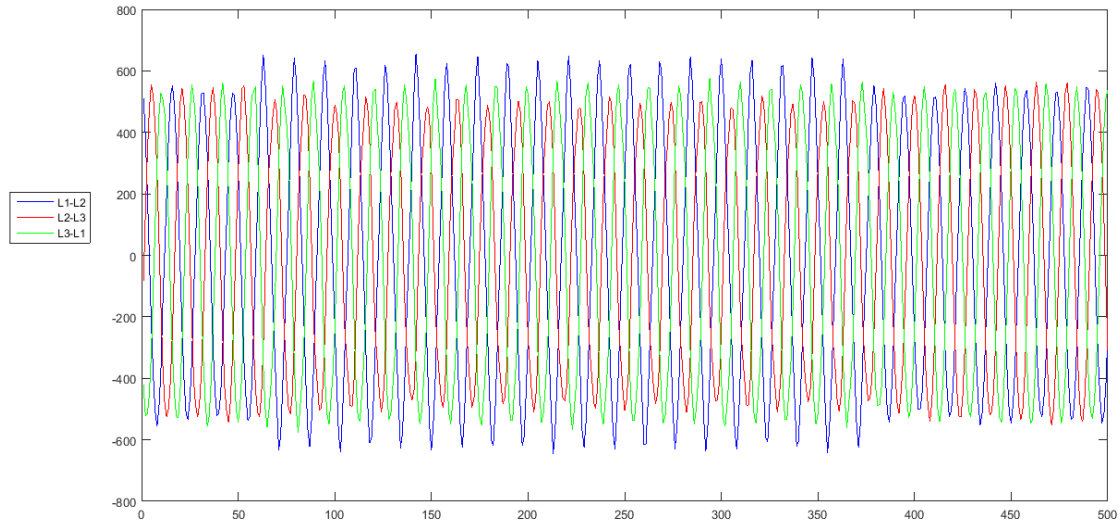
Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 50: Load Currents (60%Vn, 15cycles, Experimental)

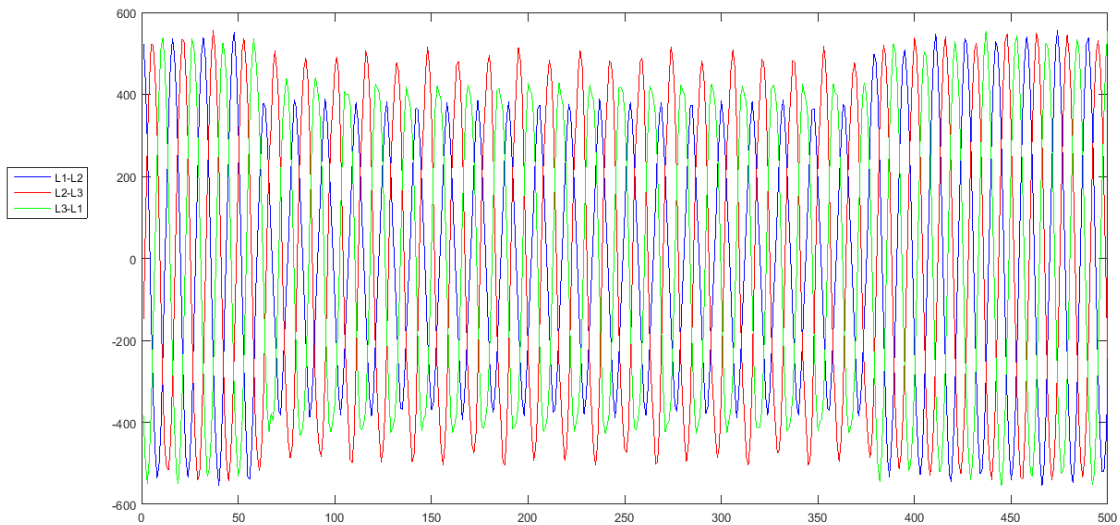
- 60% V_n , 20 cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



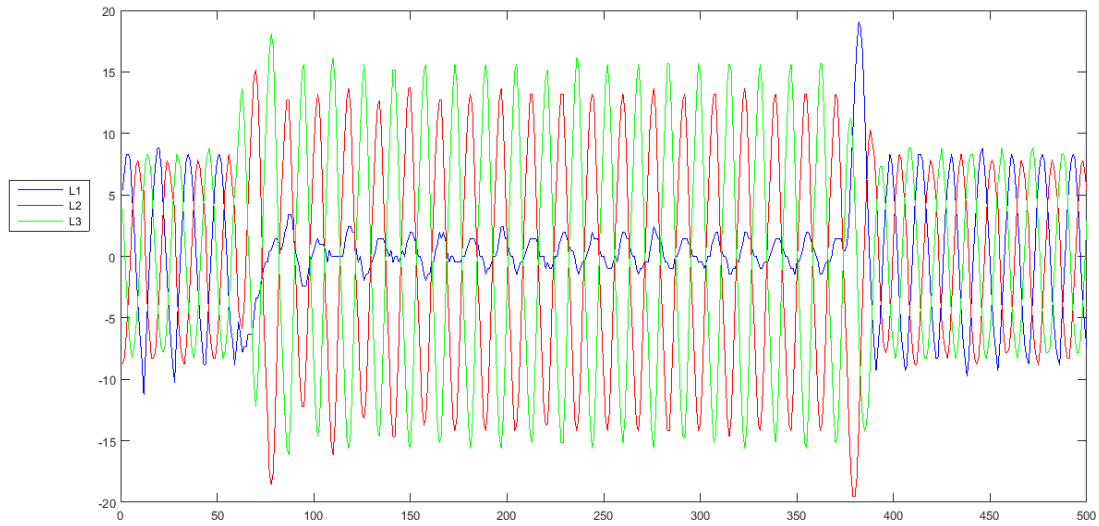
Εικόνα 51: Source Voltages (60% V_n , 20cycles, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



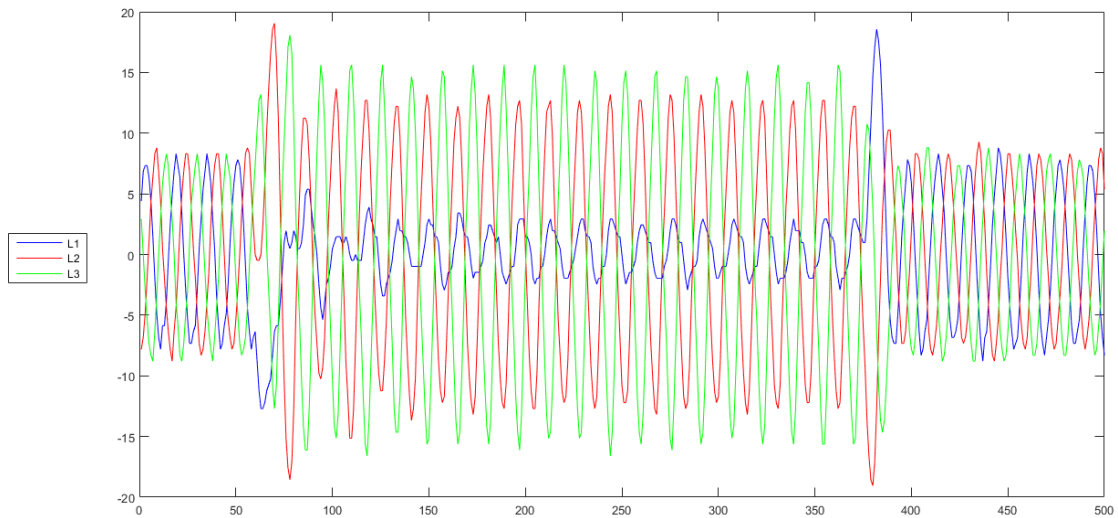
Εικόνα 52: Load Voltages (60% V_n , 20cycles, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 53: Source Currents (60%Vn, 20cycles, Experimental)

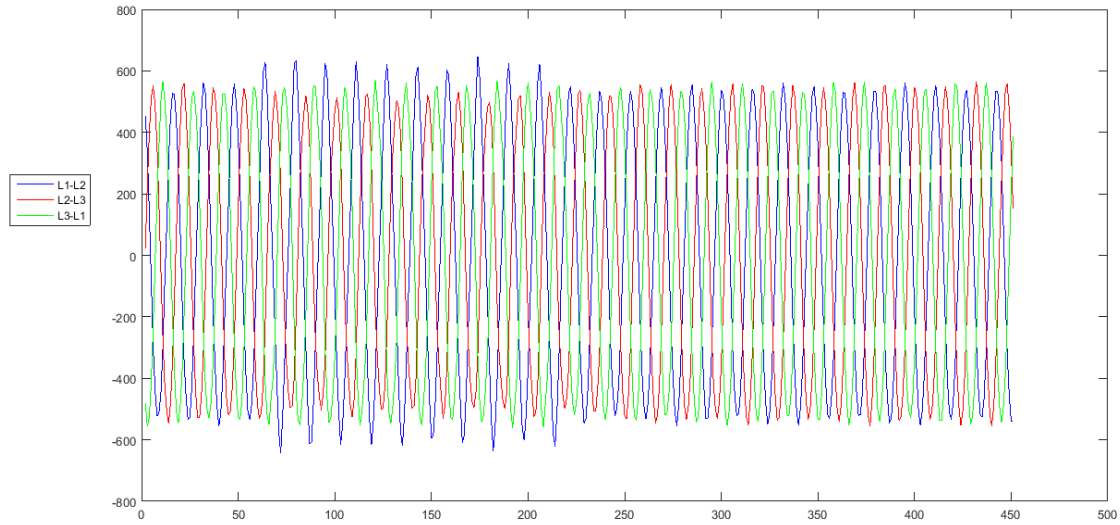
Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 54: Load Currents (60%Vn, 20cycles, Experimental)

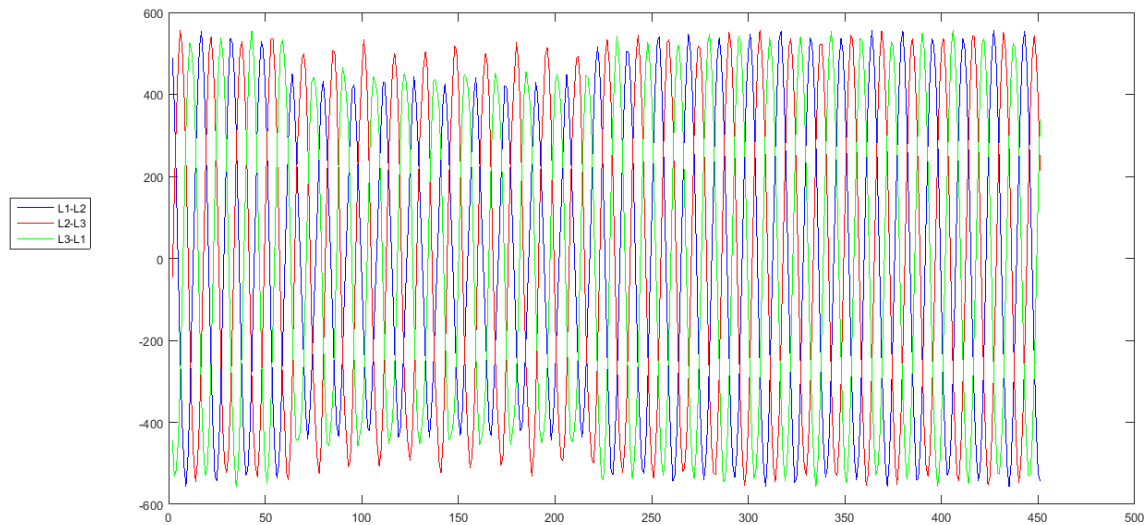
- 70% V_n , 10 cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



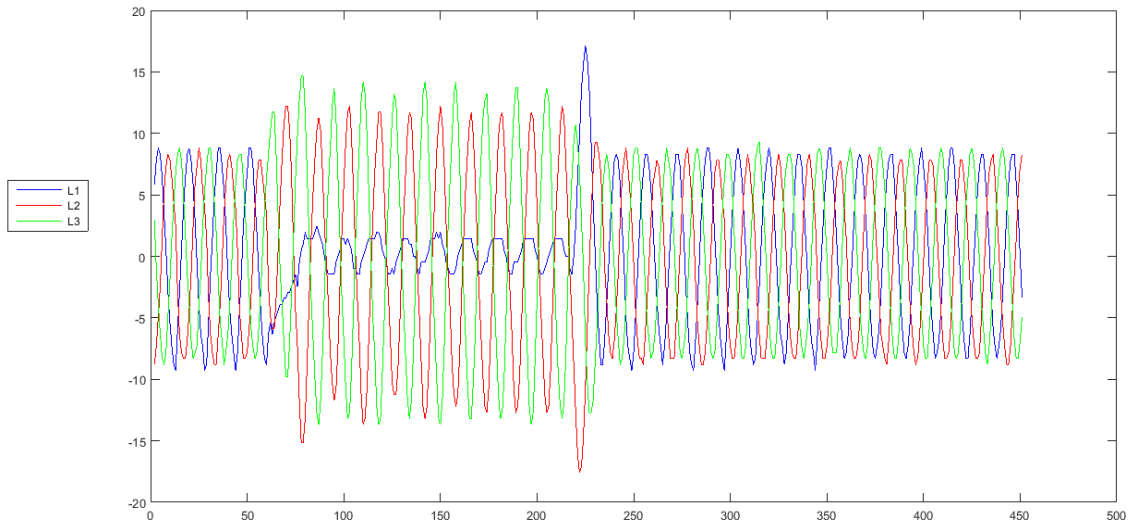
Εικόνα 55: Source Voltages (70% V_n , 10cycles, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



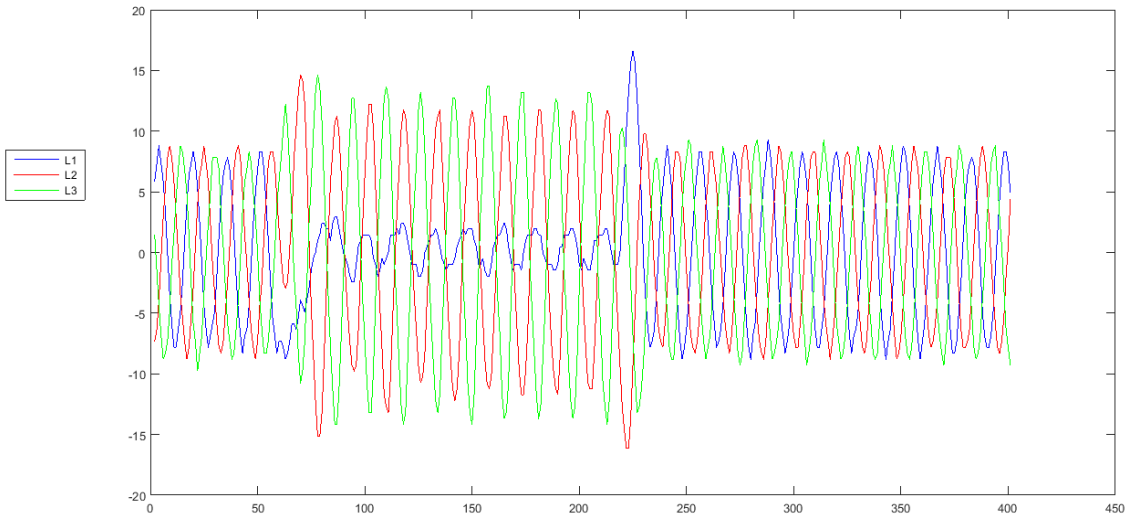
Εικόνα 56: Load Voltages (70% V_n , 10cycles, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 57: Source Currents (70%Vn, 10cycles, Experimental)

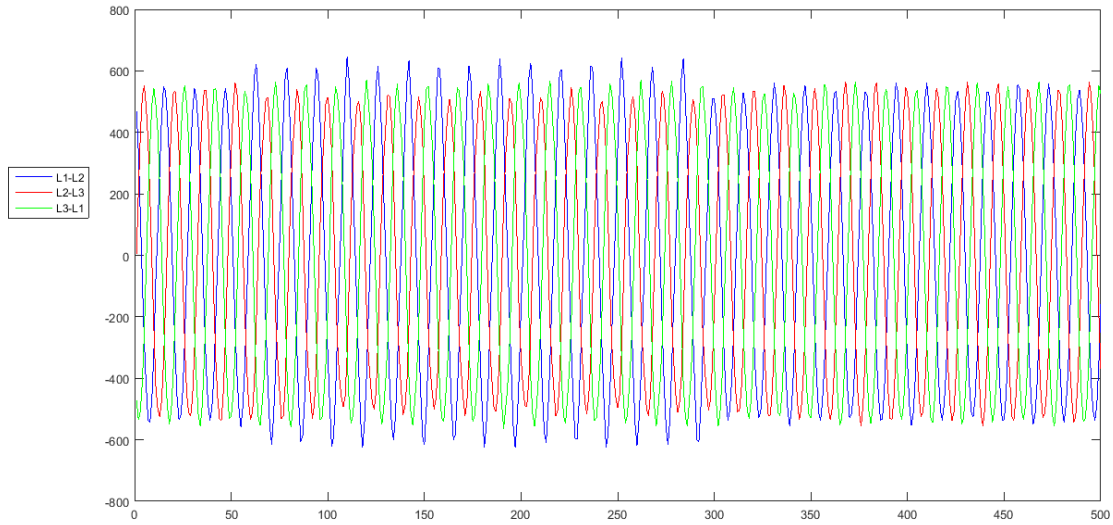
Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 58: Load Currents (70%Vn, 10cycles, Experimental)

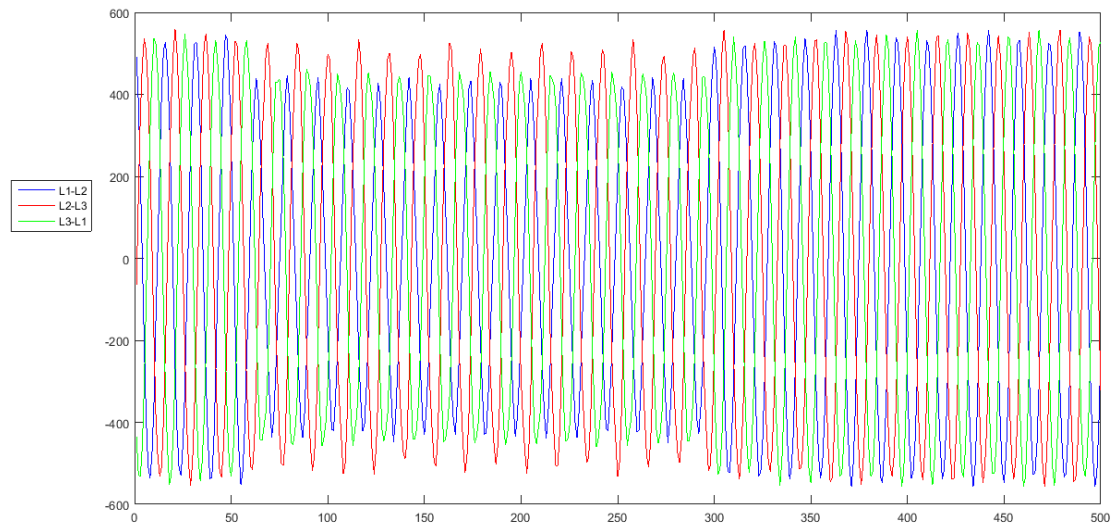
- 70% V_n , 15 cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



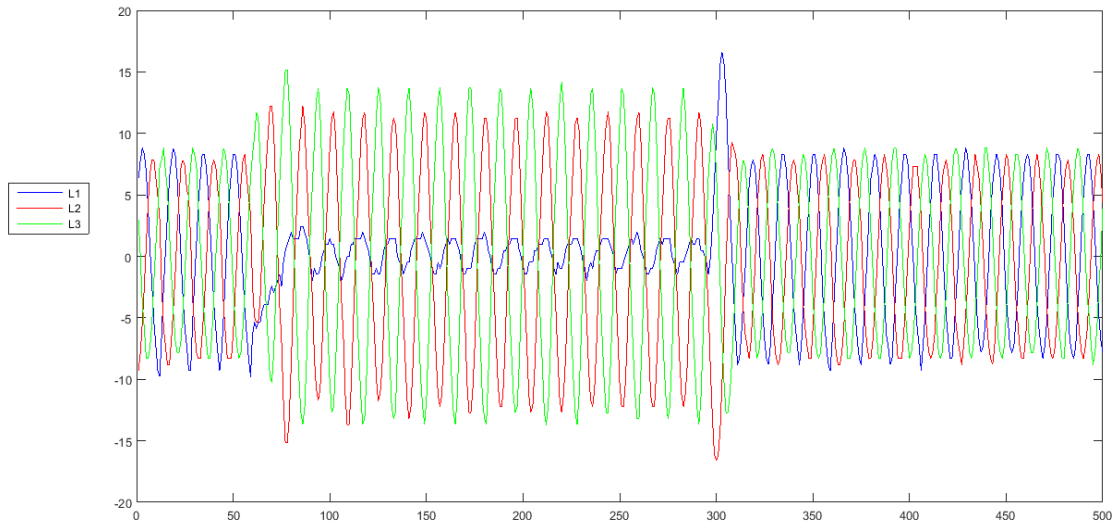
Εικόνα 59: Source Voltages (70% V_n , 15cycles, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



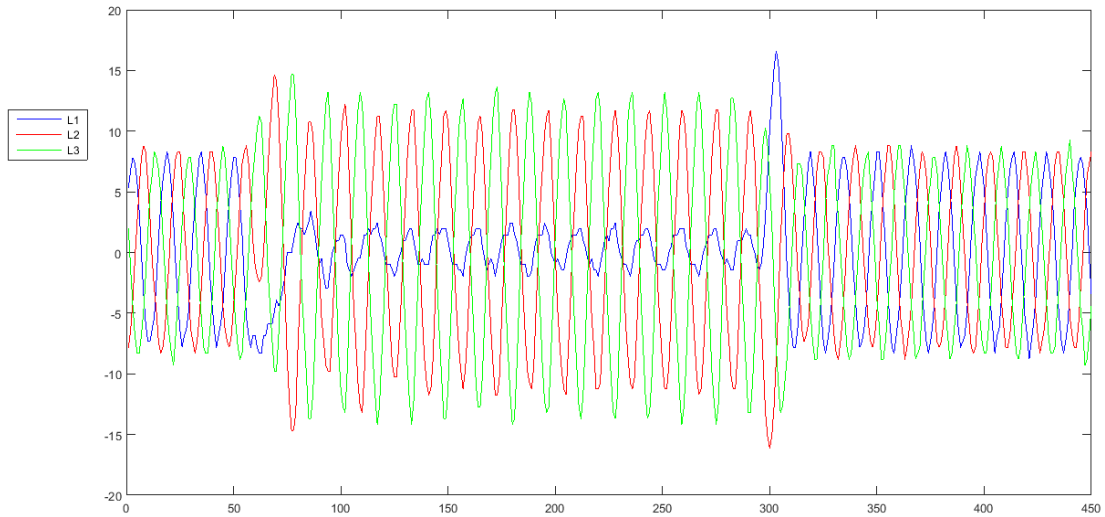
Εικόνα 60: Load Voltages (70% V_n , 15cycles, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 61: Source Currents (70%Vn, 15cycles, Experimental)

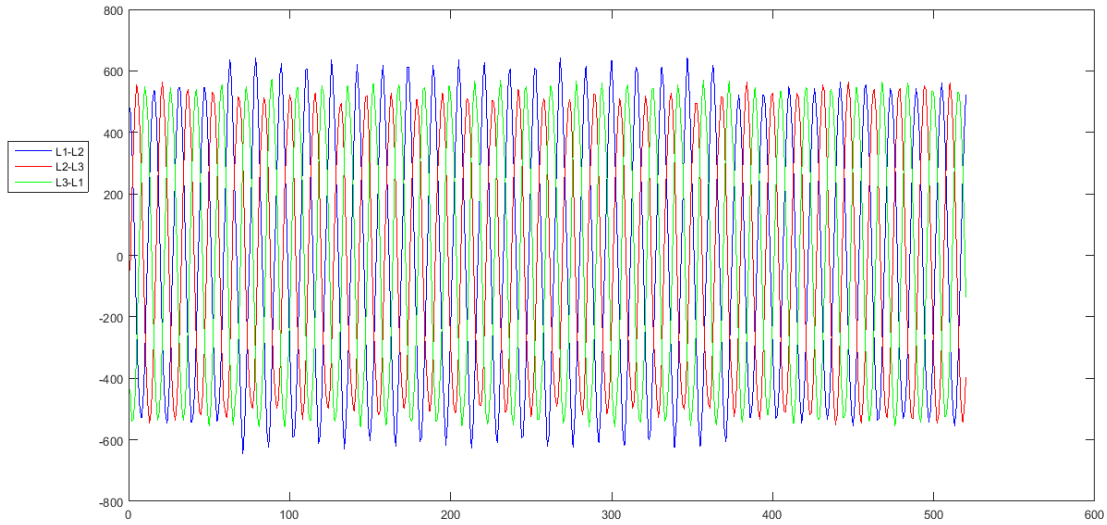
Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 62: Load Currents (70%Vn, 15cycles, Experimental)

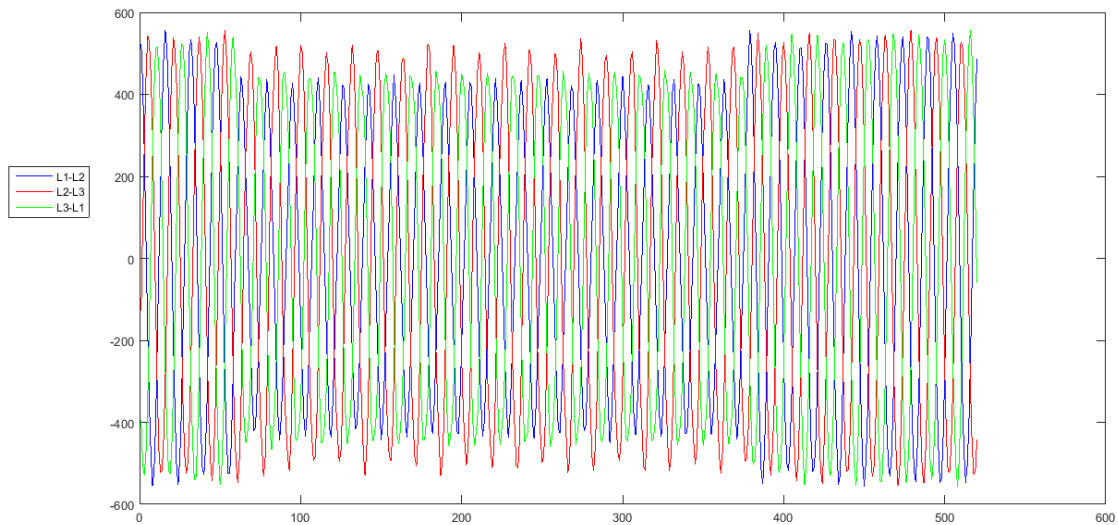
- 70% V_n , 20 cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



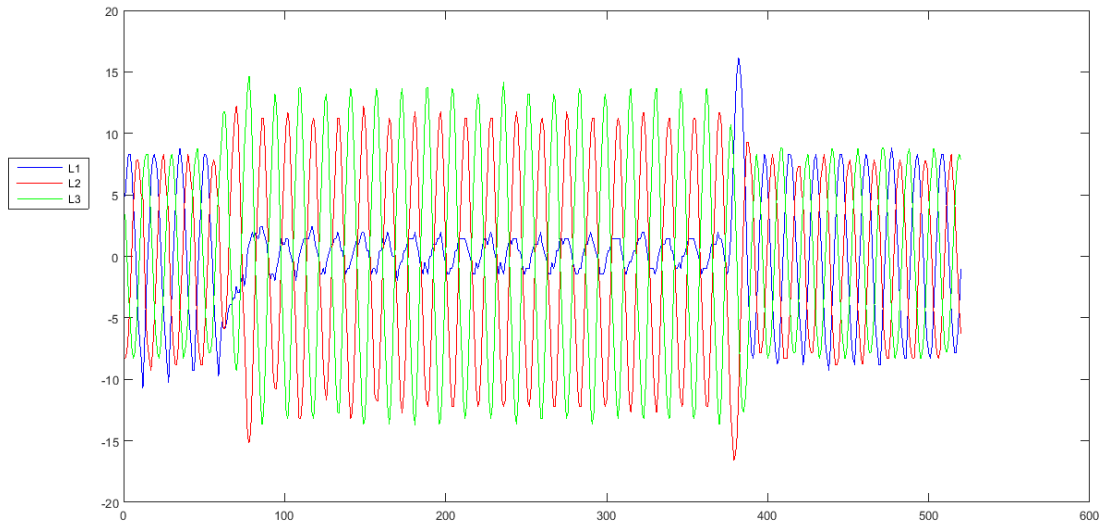
Εικόνα 63: Source Voltages (70% V_n , 20cycles, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



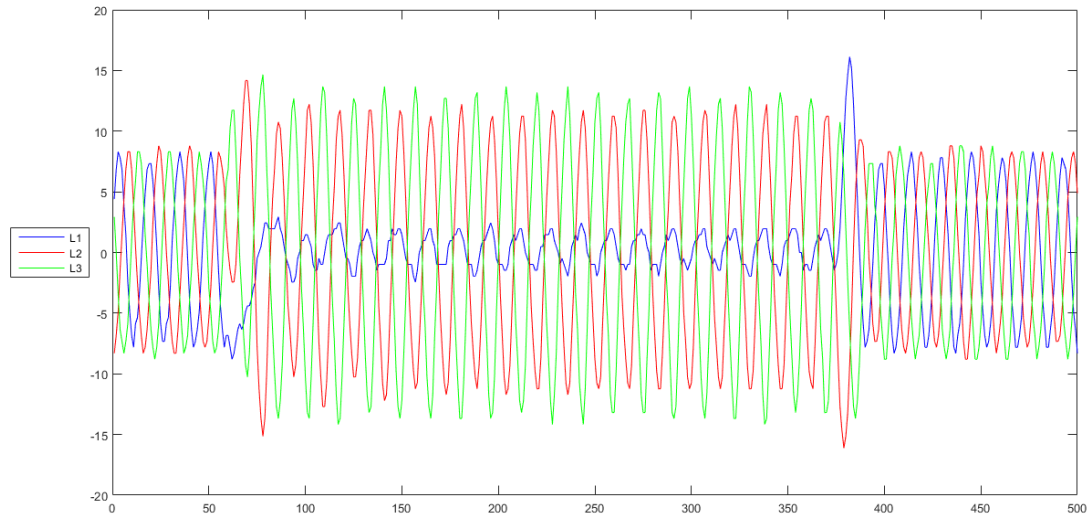
Εικόνα 64: Load Voltages (70% V_n , 20cycles, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 65: Source Currents (70%Vn, 20cycles, Experimental)

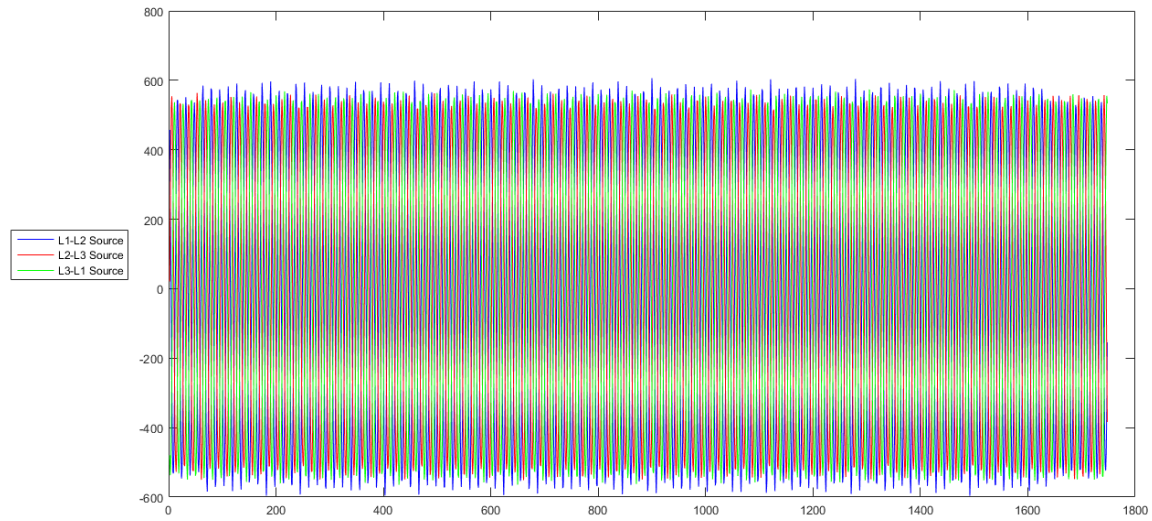
Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 66: Load Currents (70%Vn, 20cycles, Experimental)

- 87% V_n , 2 sec

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



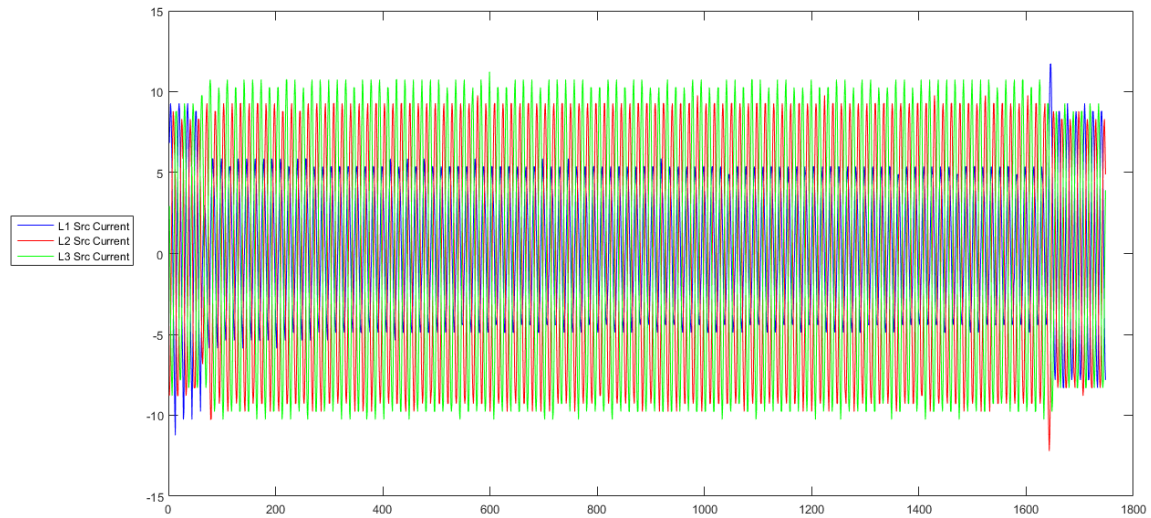
Εικόνα 67: Source Voltages (87% V_n , 2sec, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



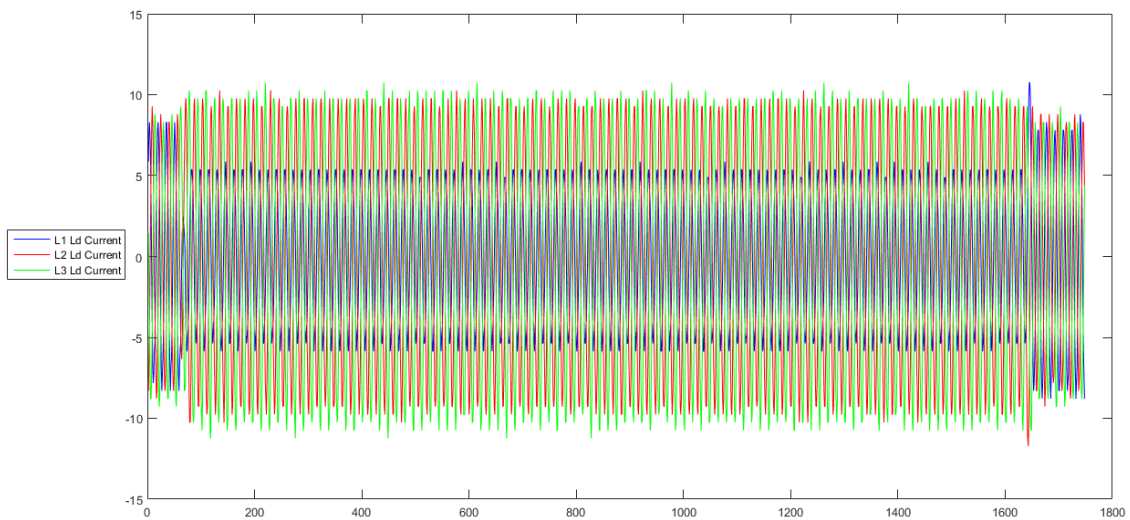
Εικόνα 68: Load Voltages (87% V_n , 2sec, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 69: Source Currents (87%Vn, 2sec, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου

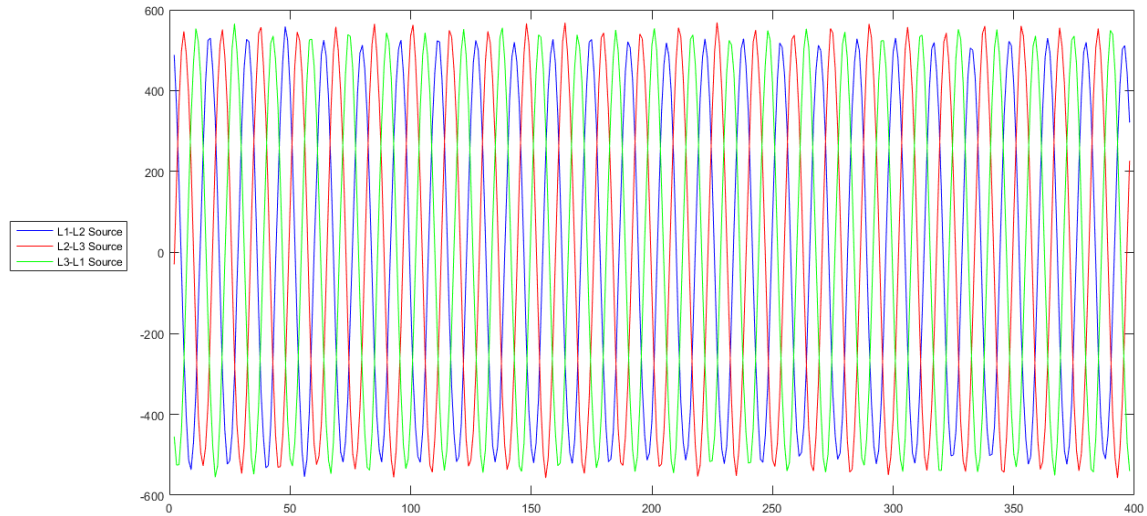


Εικόνα 70: Load Currents (87%Vn, 2sec, Experimental)

Πειραματικές ανυψώσεις

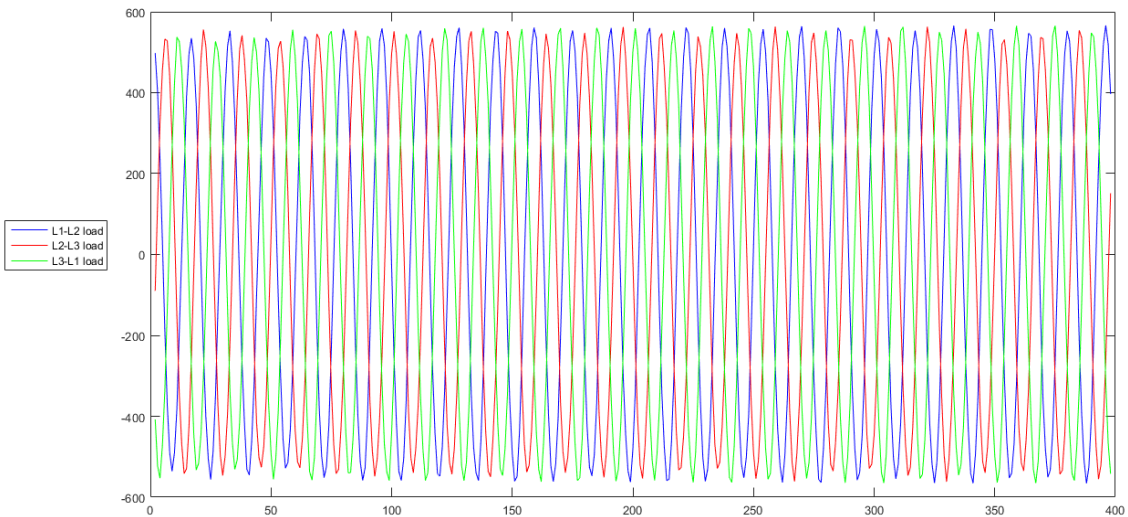
- 106% V_n , 2 sec

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



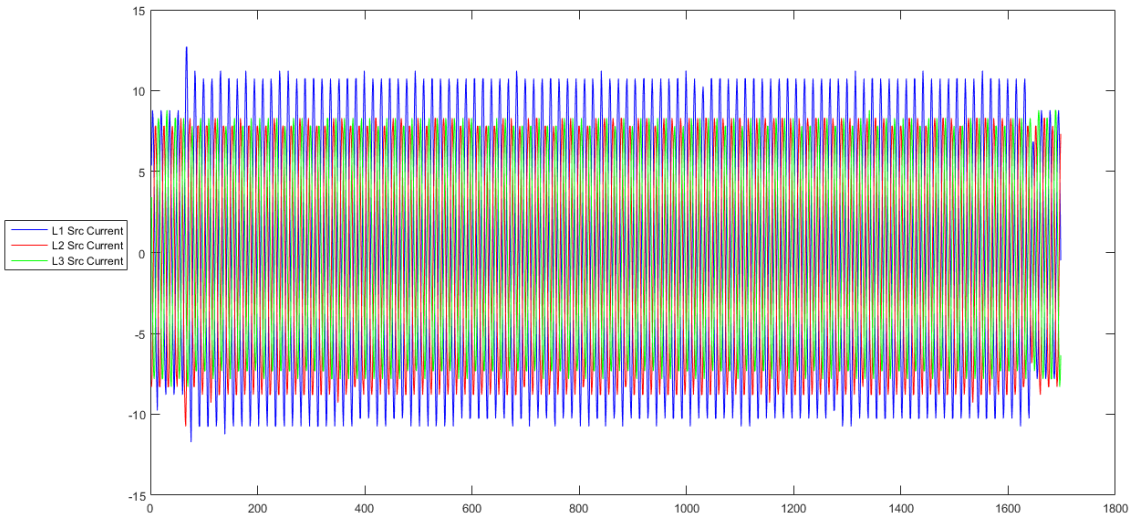
Εικόνα 71: Source Voltages (106% V_n , 2sec, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



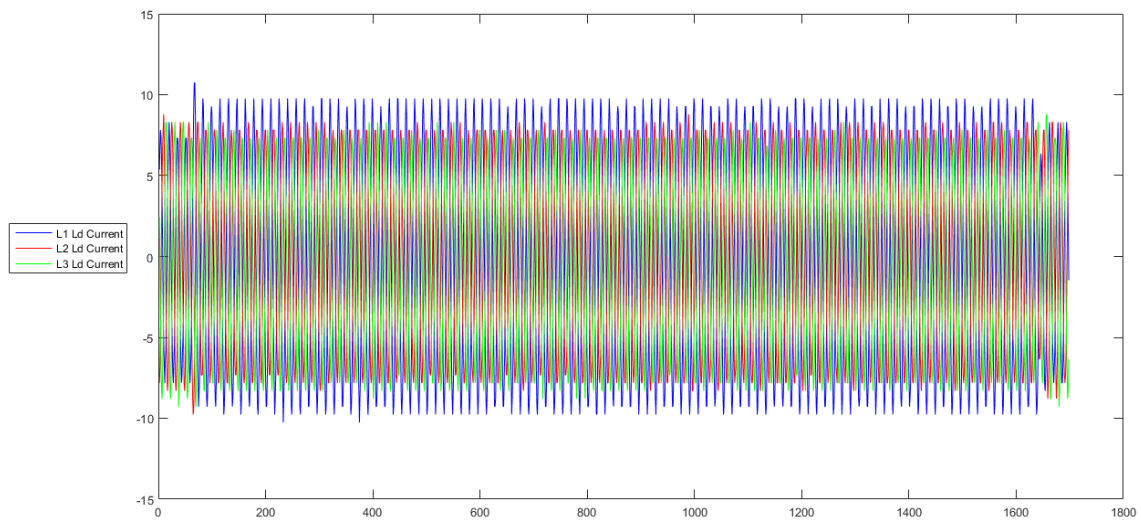
Εικόνα 72: Load Voltages (106% V_n , 2sec, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 73: Source Currents (106%Vn, 2sec, Experimental)

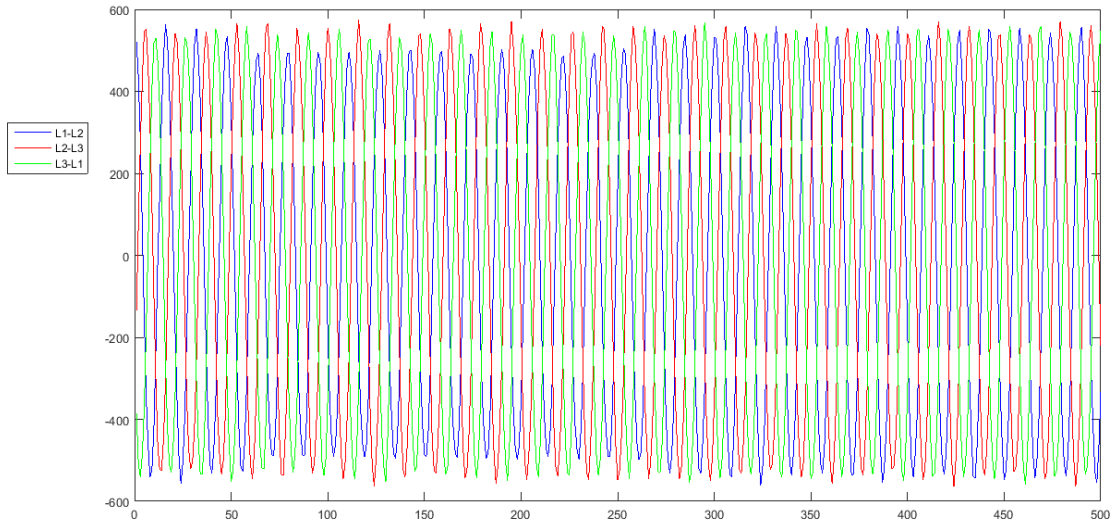
Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 74: Load Currents (106%Vn, 2sec, Experimental)

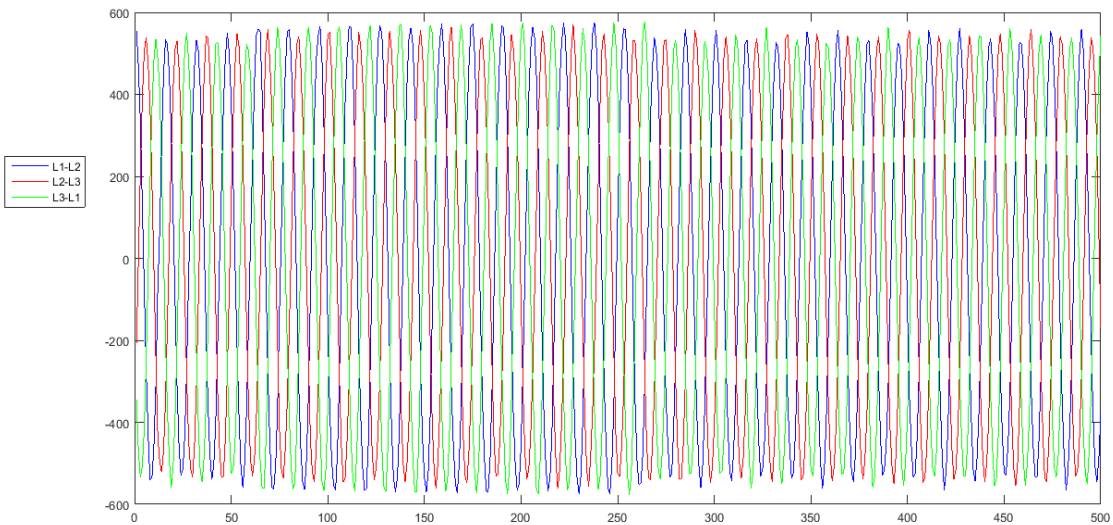
- 115% Vn, 13 cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



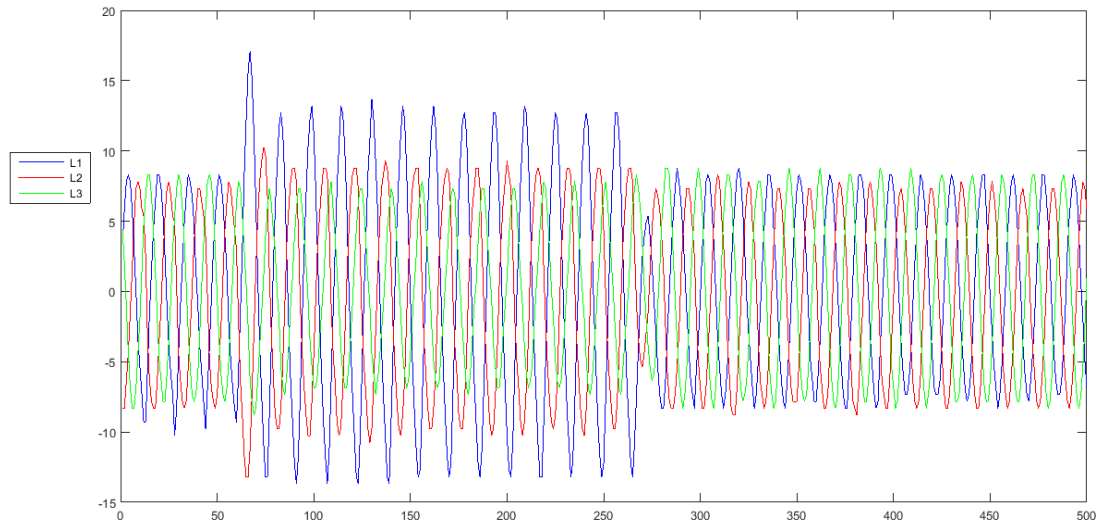
Εικόνα 75: Source Voltages (115%Vn, 13cycles, Experimental)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



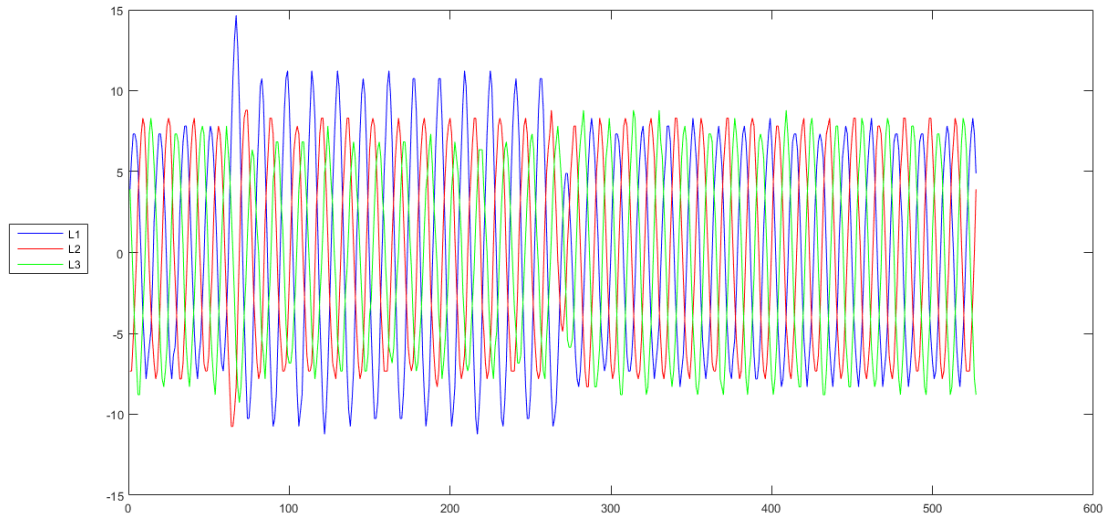
Εικόνα 76: Load Voltages (115%Vn, 13cycles, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



Εικόνα 77: Source Currents (115%Vn, 13cycles, Experimental)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



Εικόνα 78: Load Currents (115%Vn, 13cycles, Experimental)

Σχολιασμός πειραματικών μετρήσεων

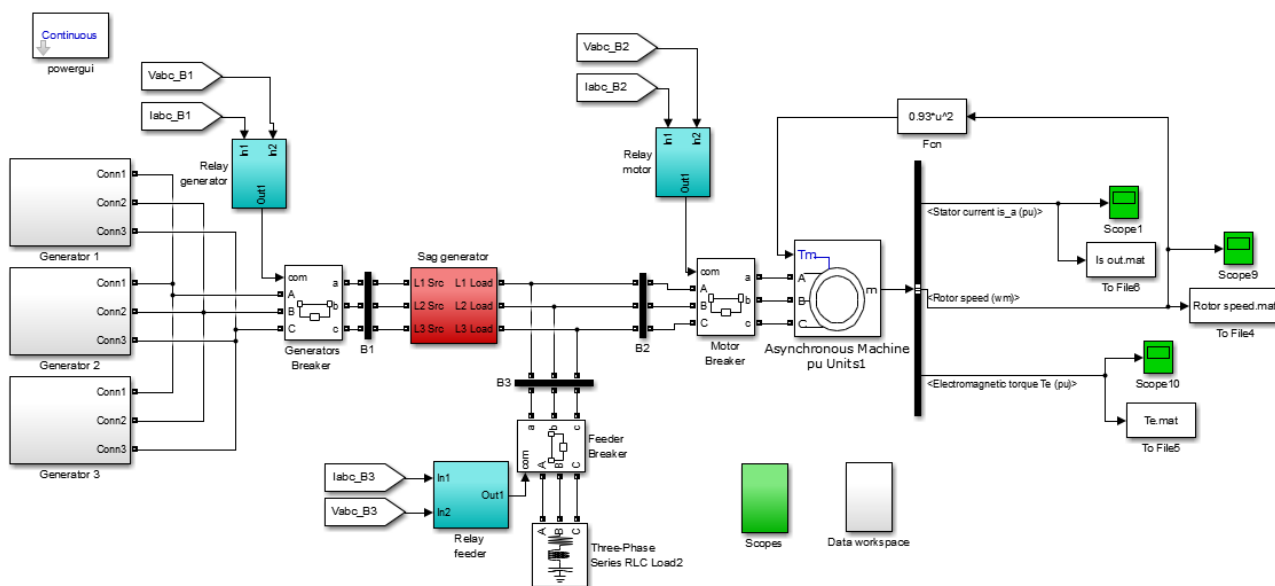
Παρατηρώντας τα παραπάνω πειραματικά γραφήματα προκύπτουν αρκετές αξιοπρόσεκτες λεπτομέρειες οι οποίες είναι οι εξής:

- Όσον αφορά τις κυματομορφές των τάσεων, παρατηρώντας τις αποκρίσεις τόσο των βυθίσεων όσο και των ανυψώσεων καταγράφεται ένα ξεκάθαρο μοτίβο(pattern) το οποίο επαναλαμβάνεται κατά την διάρκεια όλων των πειραματικών μετρήσεων. Η συνιστώσα στην οποία διαδραματίζεται το εκάστοτε event (L1-L2) παρουσιάζει μια "αναμενόμενη" συμπεριφορά λαμβάνοντας υπόψη εάν πρόκειται για sag ή swell. Εξετάζοντας τις πειραματικές μετρήσεις βυθίσεων, από πλευράς φορτίου η συνιστώσα L1-L2 παρουσιάζει μια φυσιολογική μείωση του πλάτους της ενώ περιστασιακά (σε μεμονωμένες μετρήσεις) εμφανίζονται και ορισμένα notching. Η συνιστώσα L2-L3 μεταβάλλει το πλάτος της σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με την συνιστώσα L3-L1, στην οποία παρουσιάζεται αισθητή μείωση του πλάτους της αλλά και μεταβολή της μορφής της(shape) σε μη ορθογωνικό(non- rectangular). Μια αξιοπρόσεκτη παρατήρηση, η οποία αφορά και τις τρεις συνιστώσες των δύο πλευρών (source, load) είναι το γεγονός ότι μετά το τέλος κάποιου event, για να επέλθει full recovery των συνιστωσών(δηλαδή να επανέλθουν οι τιμές των τάσεων στις αρχικές τιμές τους, όπως ήταν πριν συμβεί το event) χρειαζόταν ένα χρονικό διάστημα της τάξης των msec ανεξάρτητα με τα χαρακτηριστικά κάθε βύθισης/ανύψωσης. Εξετάζοντας την πλευρά της πηγής, η συνιστώσα L1-L2 έχει "αντίρροπη" συμπεριφορά με εκείνη της πλευράς του φορτίου (ανυψώνεται στην περίπτωση βύθισης και βυθίζεται στην περίπτωση ανύψωσης) κάτι που συμβαίνει λόγω ισοζυγίου ενέργειας. Η συνιστώσα L3-L1 της πλευράς της πηγής παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με εκείνη της L1-L2, περιλαμβάνοντας μικρότερες μεταβολές του πλάτους της. Η συνιστώσα L2-L3 παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με την αντίστοιχη της πλευρά του φορτίου, δηλαδή μεταβάλλεται σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τις άλλες συνιστώσες (ανυψώνεται στην περίπτωση ανυψώσεων και βυθίζεται στην περίπτωση βύθισης).
- Όσον αφορά τις κυματομορφές των ρευμάτων γενικότερα παρουσιάζουν μεγαλύτερες αποκλίσεις από τις τιμές κανονικής λειτουργίας. Τόσο στην πλευρά της πηγής όσο και στην πλευρά του φορτίου, κατά την διάρκεια κάποιου event αναπτύσσονται ρεύματα τιμής διπλάσιας και σε ορισμένες περιπτώσεις τριπλάσιας του ονομαστικού τα οποία εμπεριέχουν αρκετές διαταραχές. Συγκεκριμένα, για βυθίσεις μεγαλύτερες του 50% (30%, 40%) τα ρεύματα των φάσεων L1 και L2 παρουσιάζουν αρμονικές διαταραχές, spikes, phase jumps, μεγάλες τιμές ρεύματος και ιδιαίτερα ανομοιόμορφες χαρακτηριστικές. Το ρεύμα της φάσης L3 επηρεάζεται λιγότερο συγκριτικά με τα υπόλοιπα καθότι παρουσιάζει μόνο αυξημένες τιμές και κάποια μεμονωμένη αλλαγή της μορφής του. Για βυθίσεις μικρότερες του 50% η κατάσταση διαφοροποιείται στο ότι το ρεύμα φάσης L1 κατά την διάρκεια του event δεν αναπτύσσει μεγάλες τιμές όπως στις

δύο προηγούμενες περιπτώσεις αλλά ιδιαίτερα μικρές ενώ ύστερα από τη λήξη κάθε βύθισης ακολουθεί και ένα spike της αντίστοιχης φάσης. Στις περιπτώσεις των ανυψώσεων τα ρεύματα των φάσεων L2 και L3 δεν παρουσίασαν ιδιαίτερες αυξομειώσεις των τιμών τους παρά μόνο κατά την έναρξη και λήξη των swells. Παρομοίως και το ρεύμα της φάσης L1, εμφάνισε spikes στην αρχή και στο τέλος των events ενώ οι τιμές του κατά την διάρκεια ήταν αυξημένες, όχι μεγαλύτερες του διπλάσιου ονομαστικού ρεύματος.

Κεφάλαιο 7ο Γραφικό περιβάλλον προσομοίωσης και αποτελέσματα

Κύκλωμα προσομοίωσης Matlab

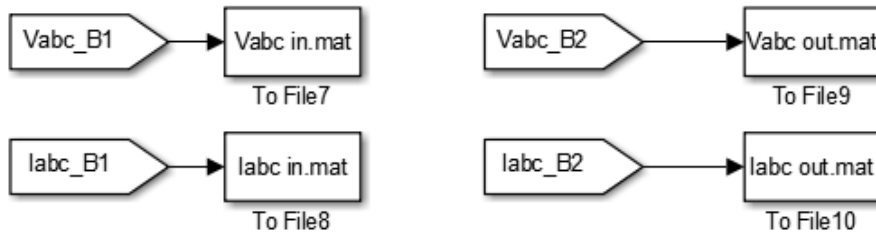


Εικόνα 79: Κύκλωμα Προσομοίωσης Matlab

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το κύκλωμα προσομοίωσης της Matlab, όπως υλοποιήθηκε αναφερόμενο στην πειραματική διάταξη του εργαστηρίου. Το κύκλωμα αποτελείται από επιμέρους τμήματα το καθένα εκ των οποίων, όπως και στην πειραματική(πραγματική) διάταξη έχει διακριτό ρόλο στην λειτουργία του συστήματος. Το τμήμα της παραγωγής που απαρτίζεται από τις τρεις γεννήτριες του κυκλώματος (Generator 1, Generator 2, Generator 3). Το τμήμα προστασιών που αποτελείται από τα τρία Relay με τους αντίστοιχους Breakers. Το τμήμα της sag generator που παρεμβάλλεται μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης και το τμήμα της κατανάλωσης το οποίο αποτελείται από τον επαγωγικό κινητήρα και ένα φορτίο RLC. Όσον αφορά τον κινητήρα, όπως φαίνεται και στο σχήμα, μέσω του ενός Bus Selector Block υπάρχει η δυνατότητα παρατήρησης της εύρυθμης λειτουργίας του εν λόγω στοιχείου αλλά και η καταγραφή της "συμπεριφοράς" του κατά την διάρκεια κάποιου event. Τα παραπάνω δεδομένα που καταγράφονται είναι το ρεύμα στάτη, η ηλεκτρομηχανική ροπή και η γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα. Για το φορτίο RLC του κυκλώματος ισχύουν τα εξής. Το συγκεκριμένο φορτίο είναι κλιμακωτής επιλογής(0KW, 1.6KW, 3.2KW και 4.8KW) και η εκάστοτε επιλογή της τιμής του ρυθμιζόταν από τα parameters του Block.

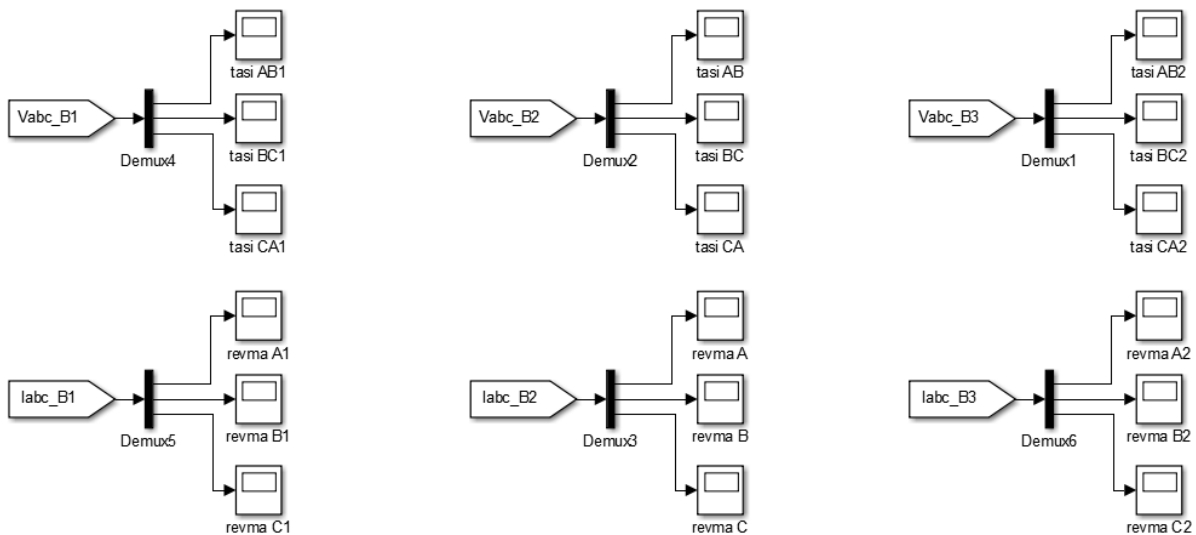
Παρατηρώντας τα 3 χαρακτηριστικά μεγέθη του κινητήρα, πέρα από τους αντίστοιχους παλμογράφους που καταγράφουν τις χαρακτηριστικές εξόδους των μεγεθών αυτών, διαπιστώνεται η τοποθέτηση και τριών αντίστοιχων Sink Block η χρησιμότητα των οποίων είναι η εξαγωγή και αποθήκευση των παραπάνω χαρακτηριστικών σε μορφή πινάκων για

μεταγενέστερη επεξεργασία. Το Data Workspace subsystem(κάτω δεξή μέρος με λευκό περίγραμμα) αποτελείται από παρόμοια Blocks αναφερόμενο στις ενδείξεις της Source πλευράς(Three-Phase V-I Measurement B1) αλλά και της αντίστοιχης Load(Three-Phase V-I Measurement B2). Το εσωτερικό του είναι το εξής.



Εικόνα 80: Data Workspace subsystem

Έχοντας ως σκοπό την καταγραφή και σχηματική απεικόνιση των κυματομορφών τάσεων και ρευμάτων, το subsystem Block scope (κάτω δεξή μέρος με πράσινο περίγραμμα) λειτουργεί λαμβάνοντας ενδείξεις από τους τρεις Three-Phase V-I Measurement blocks (B1,B2,B3) και το εσωτερικό του είναι το εξής.



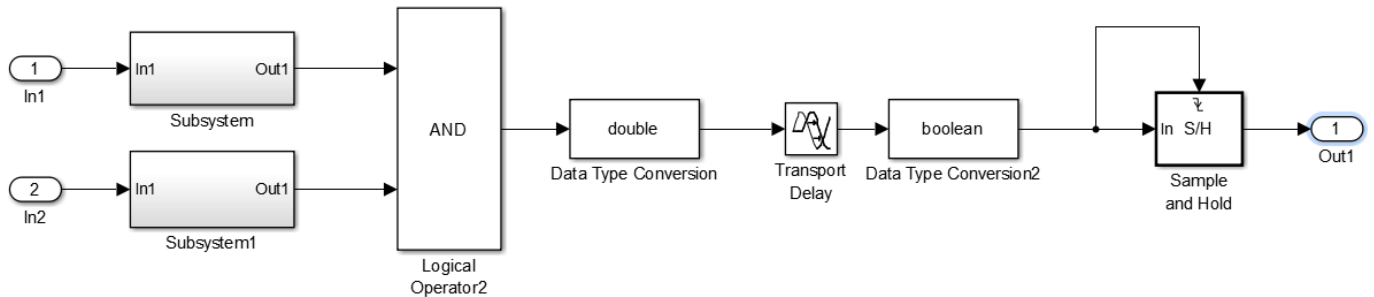
Εικόνα 81: Scopes subsystem

Υποσύστημα προστασιών

Το υποσύστημα των προστασιών αποτελείται από τρεις relays, έναν για κάθε τμήμα της πειραματικής διάταξης (generators, feeder, motor load), έχοντας ως σκοπό την απομόνωση των στοιχείων του κάθε τμήματος από το υπόλοιπο κύκλωμα στην περίπτωση που παρουσιαστούν

ακραίες τιμές ρευμάτων ή τάσης. Σχηματικά στο κύκλωμα της Matlab Simulink είναι τα στοιχεία μπλε απόχρωσης τα οποία έχουν για εισόδους τις ενδείξεις των τριφασικών μετρητών τάσης και ρεύματος B1, B2, B3 (Three-Phase VI Measurement) ενώ η τιμή εξόδου κάθε relay λαμβάνεται ως είσοδος στην επιλογή external του αντίστοιχου breaker.

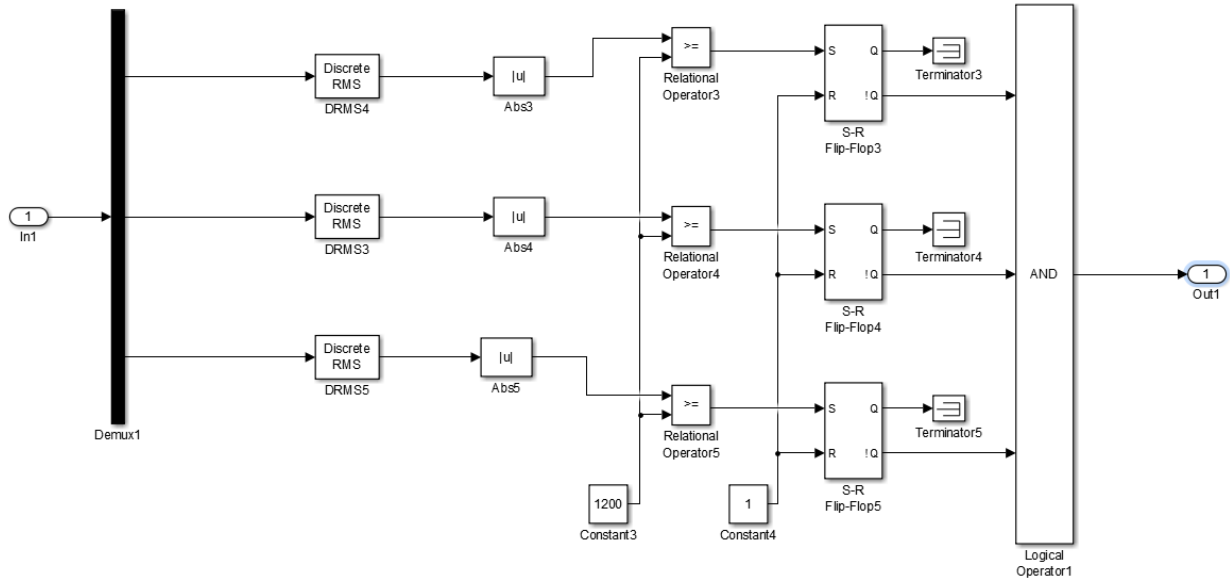
Κάθε Relay Protection Block απαρτίζεται από δύο subsystems, ένα που αφορά τον έλεγχο ρευμάτων και ένα για τον έλεγχο των τάσεων. Οι τιμές εξόδων των δύο παραπάνω subsystems καταλήγουν σε μια πύλη AND η έξοδος της οποίας, μέσω των Transport Delay και Sample and Hold Blocks, αποτελεί και την τιμή εξόδου του γενικότερου Block και καταλήγει στην είσοδο external του Breaker. Σχηματικά φαίνεται ως εξής:



Εικόνα 82: Relay Protection subsystem (a)

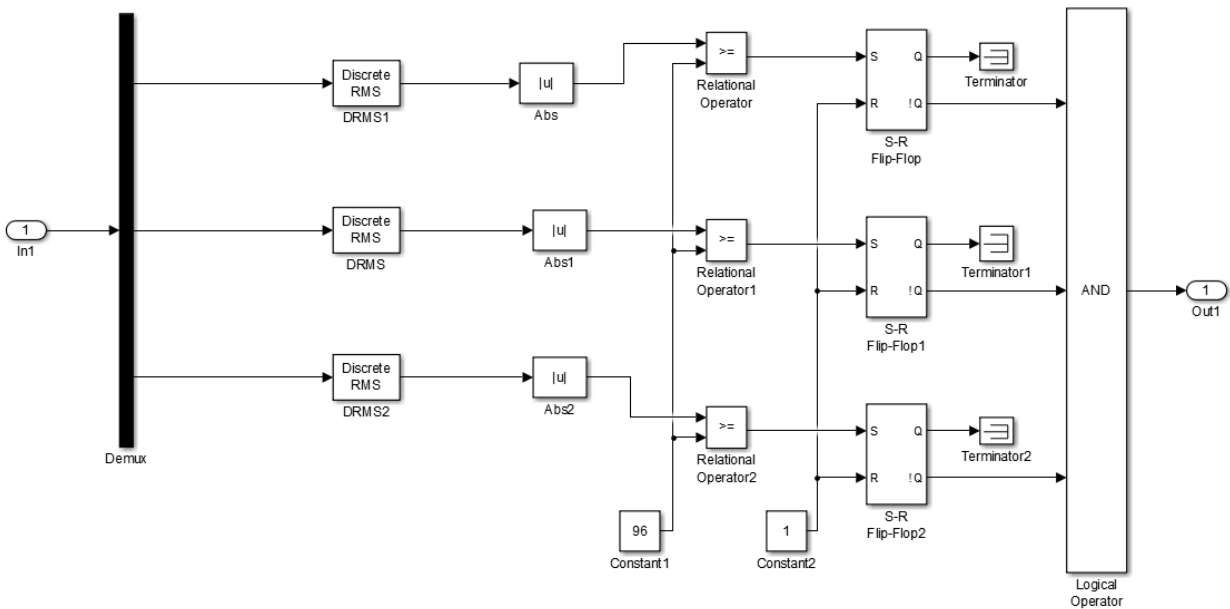
Ο τρόπος λειτουργίας και των δύο subsystems, όπως απεικονίζεται και στα παρακάτω κυκλώματα, βασίζεται στην δυαδική λογική.

Subsystem τάσεων



Εικόνα 83: Relay Protection subsystem (b)

Subsystem ρευμάτων



Εικόνα 84: Relay Protection subsystem (c)

Για παράδειγμα, στη περίπτωση του υποσυστήματος τάσεων ο τρόπος λειτουργίας είναι ο ακόλουθος. Τα σήματα των τάσεων που εισέρχονται από την είσοδο In1 διαχωρίζονται μέσω του αποπολυπλέκτη Demux στις τρεις συνιστώσες τάσεων. Στη συνέχεια τα παραπάνω ημιτονικά σήματα "διακριτοποιούνται" μέσω του Discrete RMS Block. Τα ακόλουθα σήματα των τάσεων, τα οποία πλέον δεν είναι αναλογικά αλλά μεμονωμένες τιμές, μέσω του |u| Abs Block μετατρέπονται σε αριθμητικές νόρμες καθώς αποτελούν το μέτρο κάθε τιμής της τάσης. Το

επόμενο βήμα της διαδικασίας περιλαμβάνει σύγκριση των παραπάνω μέτρων τάσεων με την ανώτερη επιτρεπτή τιμή (τρεις φορές η ονομαστική τάση) με χρήση συγκριτών Relational Operator Block. Η έξοδος των παραπάνω συγκριτών (Boolean type μεταβλητή) “διαβάζεται” από την είσοδο Set του S-R Flip-Flop, το οποίο αποτελεί το επόμενο στάδιο της διαδικασίας ελέγχου. Η είσοδος Reset του Flip-Flop έχει σταθερή τιμή 1 (Boolean type) και λαμβάνοντας υπόψη τον πίνακα αληθείας του παραπάνω Flip-Flop καταλήγουμε στο εξής συμπέρασμα.

S	R	Q_n	$!Q_n$
0	0	Q_{n-1}	$!Q_{n-1}$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0

Εικόνα 85: Πίνακας αληθείας S-R Flip Flop

Εάν σε κάποια χρονική στιγμή, η τιμή οποιασδήποτε από τις τρεις συνιστώσες τάσης ξεπεράσει το επιτρεπτό όριο τότε η τιμή εξόδου κάποιου συγκριτή θα μετατραπεί σε λογικό 1, το οποίο σε συνδυασμό με την σταθερή λογική τιμή που έχει το Reset θα έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της εξόδου $!Q_{n-1}$ του Flip-Flop από λογικό 1 σε λογικό 0. Ο λόγος ύπαρξη της λογικής πύλης AND που έχει ως είσοδο τις τρεις εξόδους του κάθε Flip-Flop, πριν την έξοδο του υποσυστήματος Out1 είναι ο εξής. Όσο δεν “παραβιάζεται” η επιτρεπτή τιμή της τάσης, οι εξοδοί των Flip-Flop έχουν τιμή 1, άρα και η έξοδος της τελικής πύλης AND έχει τιμή 1. Η τιμή εξόδου της AND θα αλλάξει στην περίπτωση που περιγράφηκε προηγουμένως. Παρόμοιο τρόπο λειτουργίας έχει και το υποσύστημα ελέγχου ρευμάτων με μόνη διαφορά την ανώτερη επιτρεπτή τιμή.

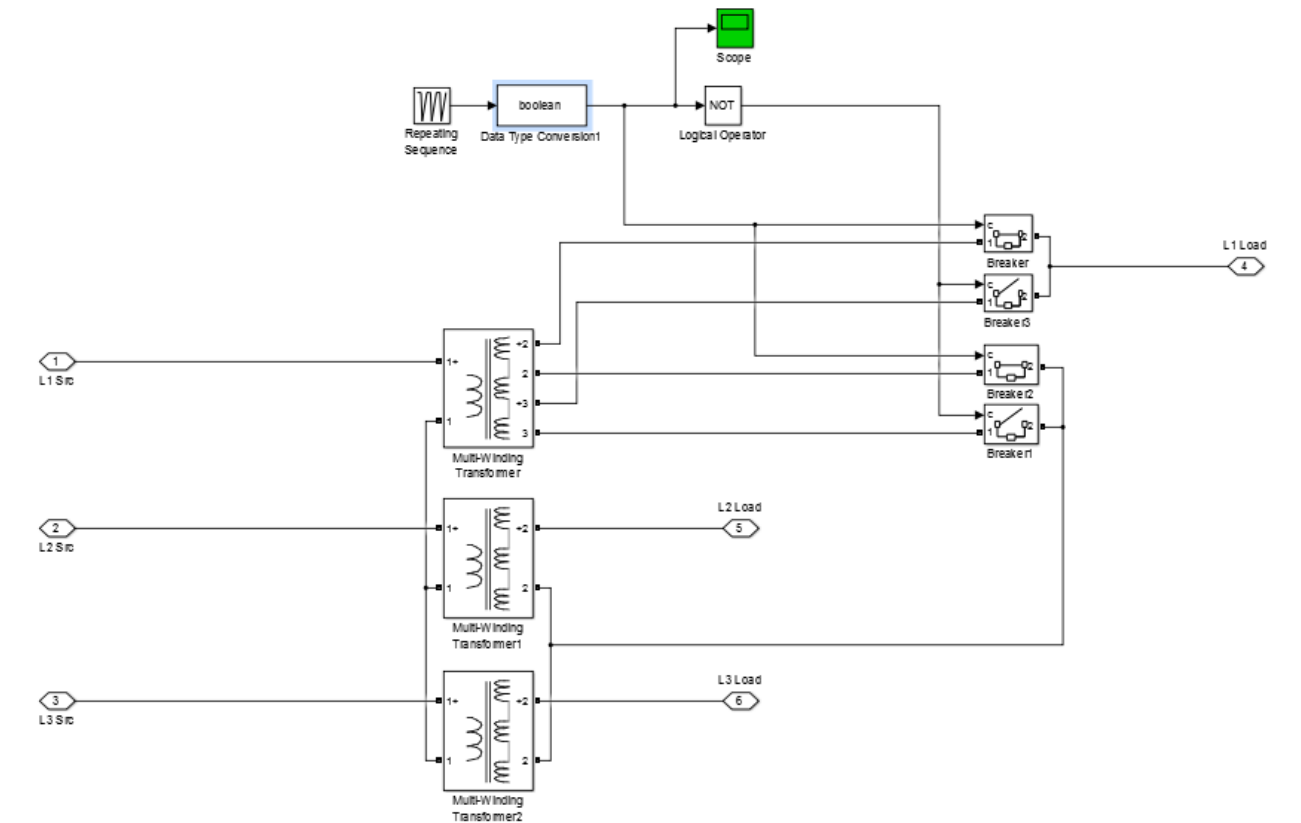
Συνοψίζοντας καταλήγουμε στο εξής συμπέρασμα. Όσο οι τιμές ρευμάτων και τάσεων βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων, τα αντίστοιχα subsystems θα έχουν ως έξοδο λογικό 1 κάτι που συνεπάγεται και το ίδιο λογικό αποτέλεσμα της πύλης AND που “διάβάζει” ως εισόδους τα αποτελέσματα των subsystems. Αν σε κάποια χρονική στιγμή παρουσιαστεί μια μη αποδεκτή τιμή είτε ρεύματος είτε τάσης τότε μέσω των λογικών πυλών AND, το Relay Protection Block θα αποκτήσει με χρονική καθυστέρηση 10ms μεταβλητή έξοδος 0. Το παραπάνω γεγονός (αλλαγή μεταβλητής εξόδου Relay Protection Block από 1 σε 0) θα έχει ως αποτέλεσμα το “άνοιγμα” του αντίστοιχου Breaker, κατάσταση στην οποία παραμένει (Sample and Hold Block) έως ότου υπάρξει εξωτερική παρέμβαση από τον χειριστή.

Υποσύστημα sag generator

Το υποσύστημα της sag generator είναι το subsystem που παρεμβάλλεται μεταξύ του σταδίου τροφοδοσίας και κατανάλωσης έχοντας ως ρόλο την “δημιουργία” διαταραχών ποιότητας ισχύος στο κύκλωμα της προσομοίωσης. Σχηματικά στην διάταξη, είναι το Block κόκκινου περιγράμματος το οποίο είναι τοποθετημένο εν σειρά στην γραμμή μεταφοράς και για τον λόγο

αυτό έχει συνολικά 6 ports. Τρεις εισόδους (L1 Src, L2 Src, L3 Src) και τρεις εξόδους (L1 Load, L2 Load, L3 Load).

Ο τρόπος λειτουργίας του συγκεκριμένου υποσυστήματος βασίζεται στην ύπαρξη τριών Μ/Σ (ένας για κάθε φάση) οι οποίοι έχουν την δυνατότητα, κατά τα γνωστά, να μεταβάλουν το επίπεδο της τάσης εξόδου τους σε ρυθμιζόμενα χρονικά διαστήματα. Το εσωτερικό του subsystem απεικονίζεται ως εξής.



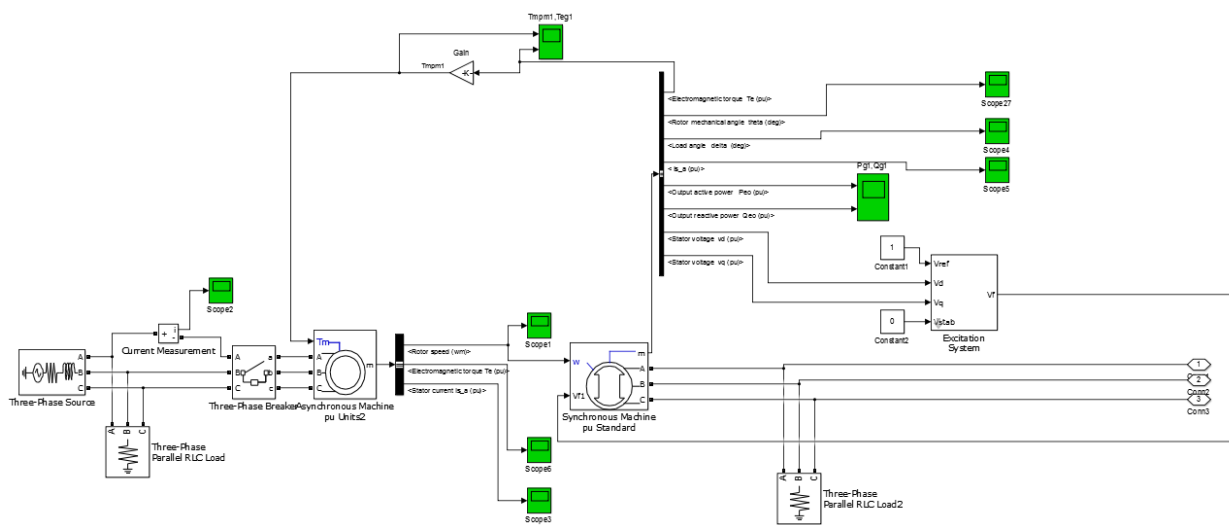
Εικόνα 86: Sag Generator subsystem

Οι τρεις Μ/Σ (Multi-Winding Transformer Blocks) είναι συνδεδεμένοι, τόσο στις εισόδους όσο και στις εξόδους τους σε σύνδεση αστέρα (Y-Y). Η διαδικασία έναυσης/λήξης ενός event περιγράφεται ως εξής. Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας (normal operation), οι τρεις Μ/Σ έχουν ρυθμισμένα τα τυλίγματα τους στο επίπεδο της ονομαστικής τάσης της διάταξης. Η μετάβαση από την κανονική λειτουργία στη μεταβατική (sag operation) επιτυγχάνεται μέσω της εναλλαγής του επιπέδου τάσης του Μ/Σ της φάσης L1 (Multi-Winding Transformer) ανάλογα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία του κάθε event, η διάρκεια του οποίου ρυθμίζεται μέσω των μονοφασικών breaker (Breaker block) που "διαβάζουν" για external εισόδους την μεταβλητή εξόδου του Repeating Sequence block. Το εν λόγω Block "παράγει" μια ακολουθία που αποτελείται από 0 και 1. Ο λόγος που έχει τοποθετηθεί το Data Type Conversion Block δεν είναι

η εναλλαγή του τύπου της εξόδου του Repeating Sequence block, αλλά η “άμεση” μετάβαση από μια τιμή (0 ή 1) στην άλλη χωρίς χρονική καθυστέρηση. Σε normal operation κατάσταση το Repeating Sequence block έχει ως έξοδο την τιμή 1, γεγονός που συνεπάγεται την λειτουργία των Breaker που είναι συνδεδεμένοι στο τύλιγμα της ονομαστικής τάσης του Multi-Winding Transformer Block (Breaker, Breaker2). Λόγω της λογικής πύλης NOT οι Breaker που είναι συνδεδεμένοι στο τύλιγμα της ρυθμιζόμενης τάσης του Multi-Winding Transformer Block (Breaker1, Breaker3), είναι απενεργοποιημένοι κατά την normal operation κατάσταση και ενεργοποιούνται κατά την sag operation κατάσταση, όπου το Repeating Sequence block έχει ως έξοδο το 0 (συνεπώς Breaker, Breaker2 τίθενται εκτός λειτουργίας).

Υποσύστημα γεννητριών

Το υποσύστημα των γεννητριών (generators subsystem) έχει ως σκοπό να τροφοδοτεί με ισχύ το κύκλωμα και για αυτό τον λόγο, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, έχει τρεις εξόδους (Conn1, Conn2, Conn3).



Εικόνα 87: Generators subsystem

Στο αριστερό μέρος του subsystem υπάρχει ένα Three-Phase Source Block το οποίο έχει τον ρόλο της τροφοδοσίας από το τοπικό δίκτυο. Στην συνέχεια υπάρχει ένας ασύγχρονος κινητήρας (Asynchronous Machine p.u. Units Block), ο οποίος αποτελεί το κύκλωμα οδήγησης της σύγχρονης γεννήτριας (Synchronous Machine p.u. Standard Block) λαμβάνοντας την απαιτούμενη διέγερση από το Excitation System Block. Η τάση εξόδου της παραπάνω γεννήτριας διανέμεται στο κύκλωμα. Η εποπτεία των μεγεθών του παραπάνω subsystem επιτυγχάνεται μέσω του πλήθους των παλμογράφων του. Υπάρχει παλμογράφος που καταγράφει το ρεύμα του δικτύου (Scope2). Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του ασύγχρονου κινητήρα

απεικονίζονται στους παλμογράφους Scope1, Scope6 και Scope3 ενώ τα αντίστοιχα της γεννήτριας καταγράφονται από τα υπόλοιπα Scopes του subsystem.

Πειραματική διαδικασία και αποτελέσματα

Στην ακόλουθη υποενότητα του κεφαλαίου επεξηγείται η διαδικασία ενώ παραθέτονται και τα αποτελέσματα των πειραματικών προσομοιώσεων. Σκοπός των προσομοιώσεων είναι η διαπίστωση ότι το εν λόγω κύκλωμα της Matlab προσεγγίζει όσο το δυνατόν καλύτερα τις πειραματικές(πραγματικές) μετρήσεις.

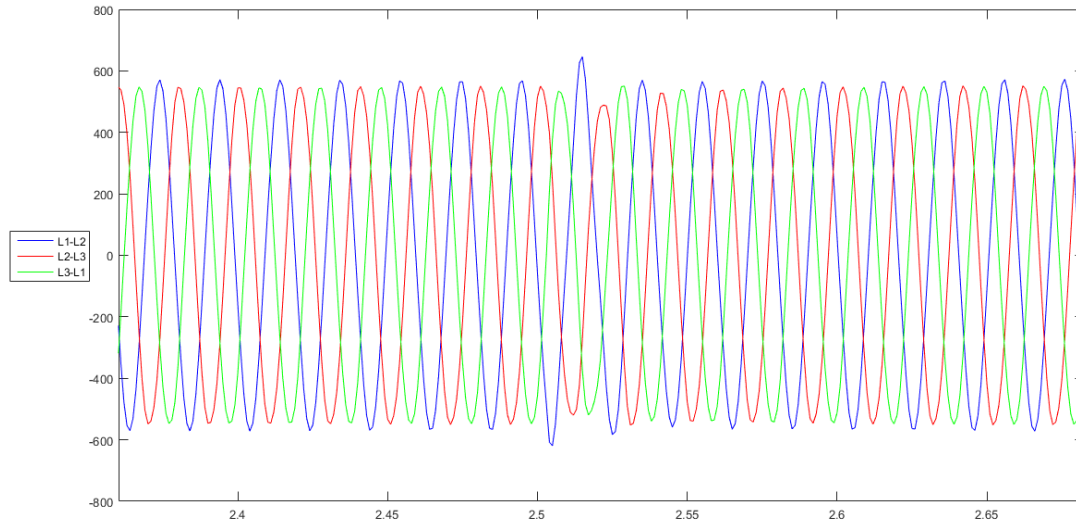
Το χρονικό διάστημα της κάθε προσομοίωσης ήταν 5 sec, χρόνος επαρκής για να καλύψει τις δύο βασικές απαιτήσεις για την κάθε περίπτωση. Η πρώτη ήταν η εκκίνηση του motor load κινητήρα, η οποία ύστερα από δοκιμές παρατηρήθηκε ότι έχει απαιτούμενο χρονικό διάστημα 1.8 με 2 sec. Η δεύτερη ήταν η αποτύπωση των αποκλίσεων κατά την διάρκεια, πριν και μετά των event. Για του δύο παραπάνω λόγους, ο συνολικός χρόνος των 5 sec θεωρήθηκε επαρκής διάστημα για την βέλτιστη καταγραφή των επιπτώσεων κάθε event όπως και για την διαχώριση των προηγούμενων με την εκκίνηση του motor load.

Επίσης, όπως συνέβη και στην περίπτωση των πραγματικών μετρήσεων, το φορτίο RLC του κυκλώματος ήταν ρυθμισμένο στα 0 KW. Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι η τελική επιλογή της δειγματοληψίας (samples per cycle), η τιμή της οποίας ρυθμίστηκε στα 4 samples ανά κύκλο προέκυψε από τον συνδυασμό ευκρίνειας/λεπτομέρειας των γραφικών αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια παραθέτονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

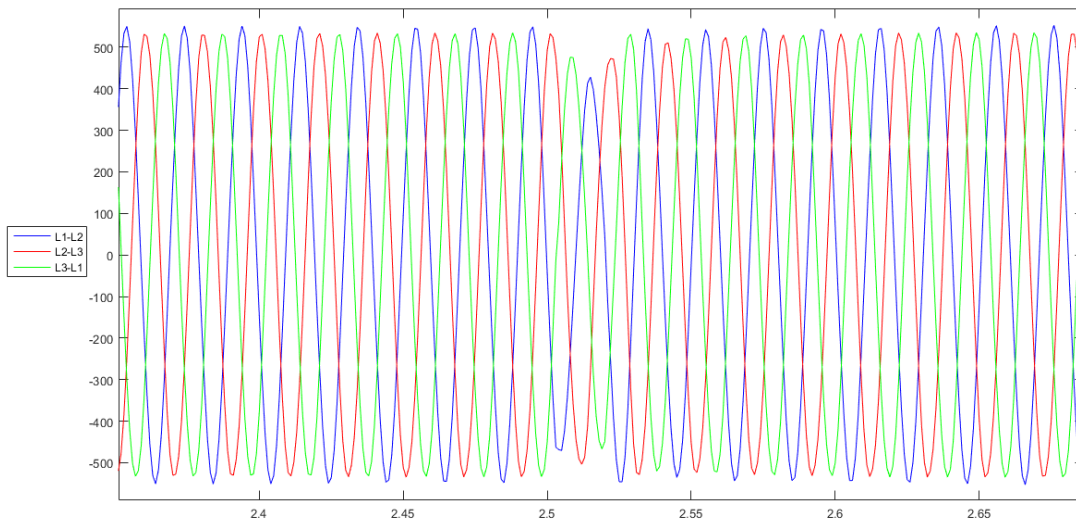
- 30%Vn, 1 cycle

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



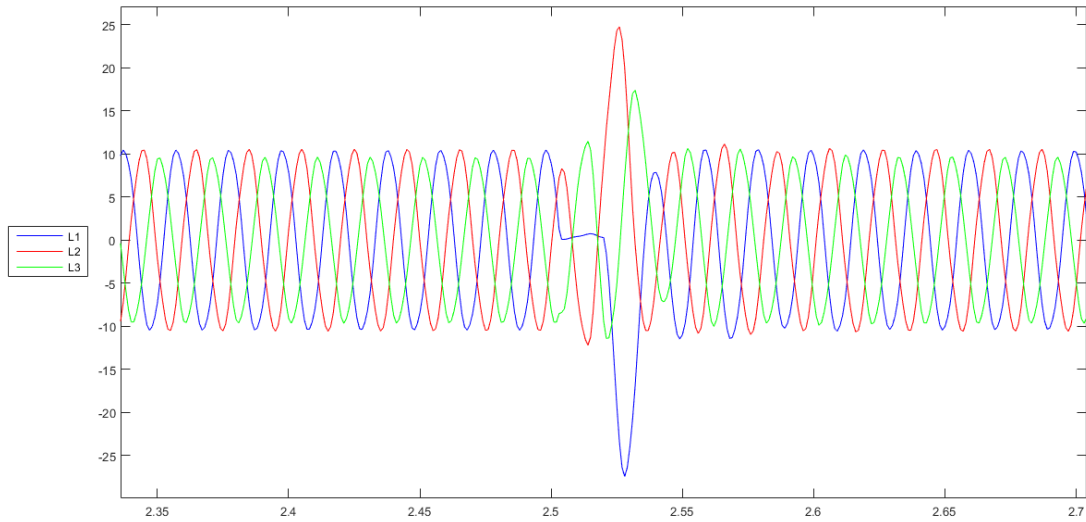
Εικόνα 88: Source Voltages (30% Vn, 1cycle, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



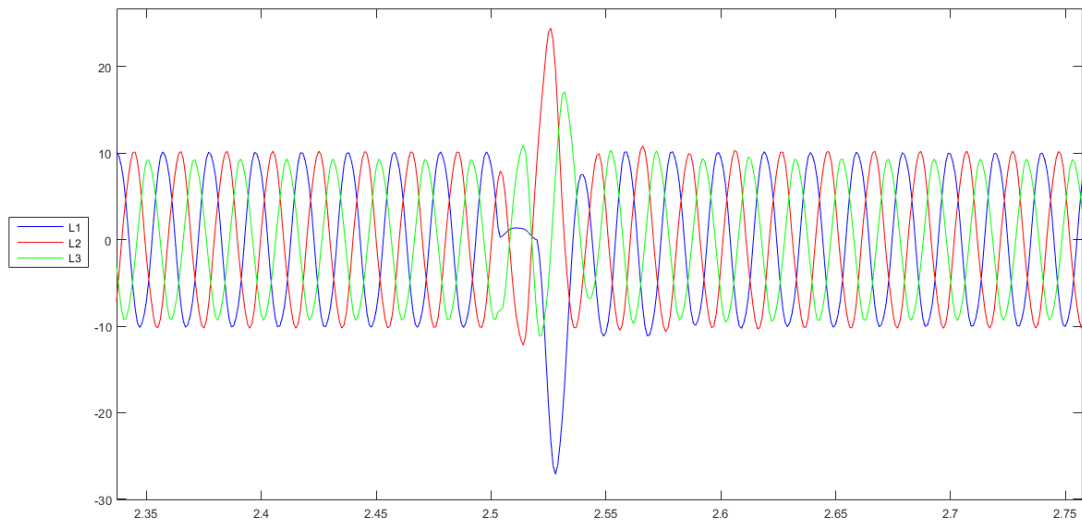
Εικόνα 89: Load Voltages (30% Vn, 1cycle, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



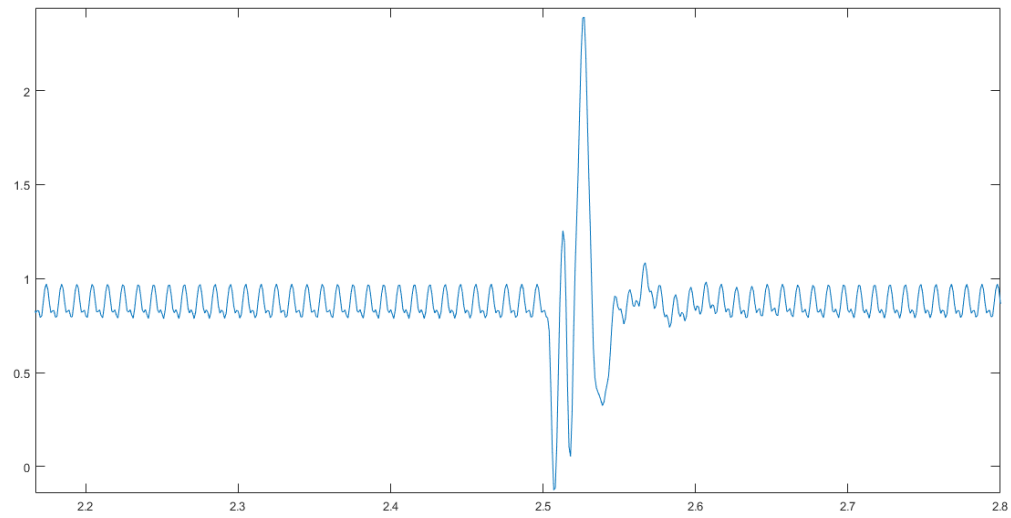
Εικόνα 90: Source Currents (30% V_n , 1cycle, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



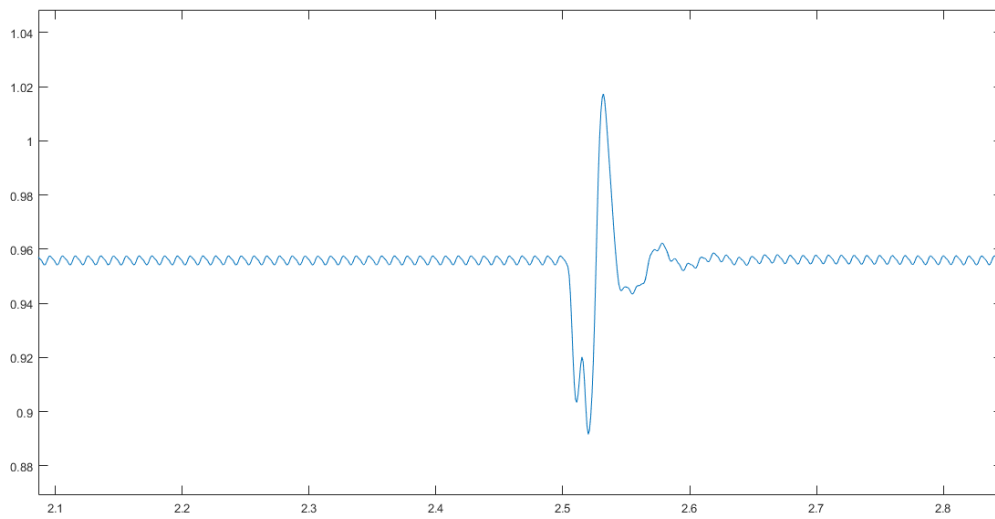
Εικόνα 91: Load Currents (30% V_n , 1cycle, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



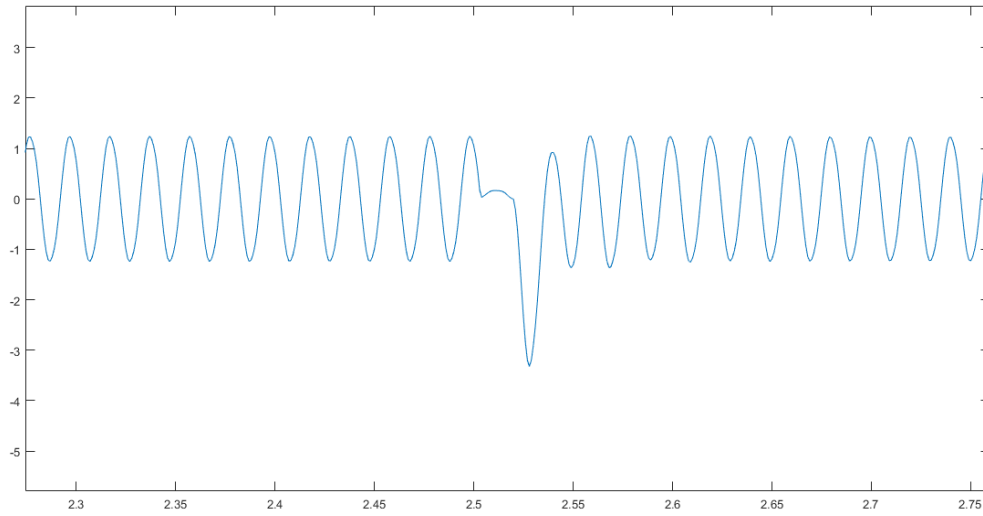
Εικόνα 92: T_e (30% V_n , 1cycle, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 93: Rotor Speed (30% V_n , 1cycle, Emulator)

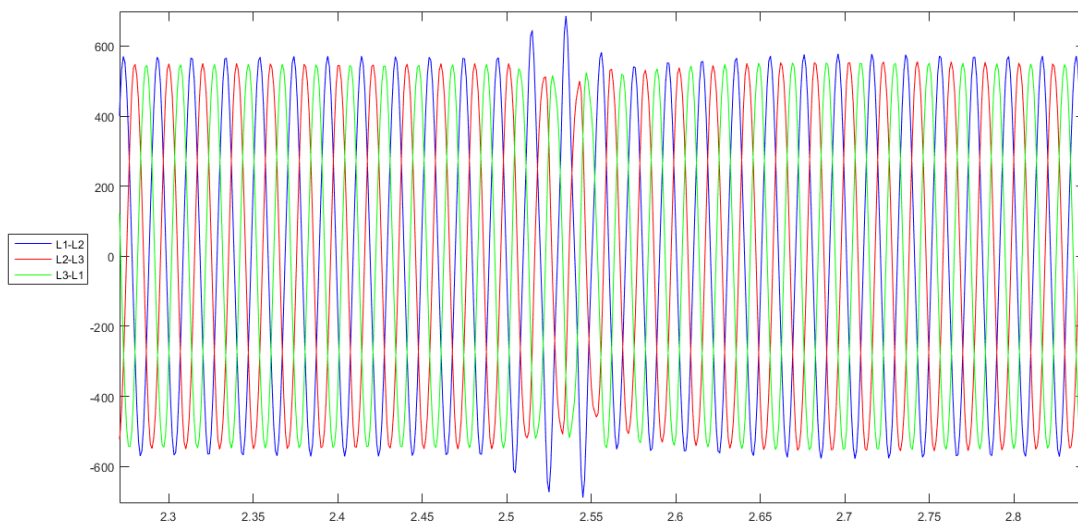
Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 94: I_s (30% V_n , 1cycle, Emulator)

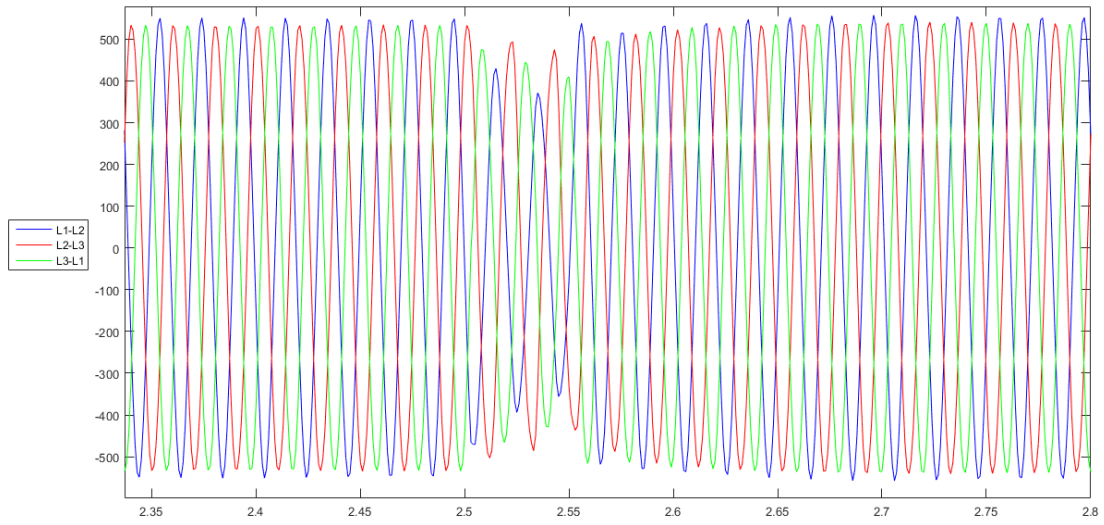
- 40% V_n , 50msec

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



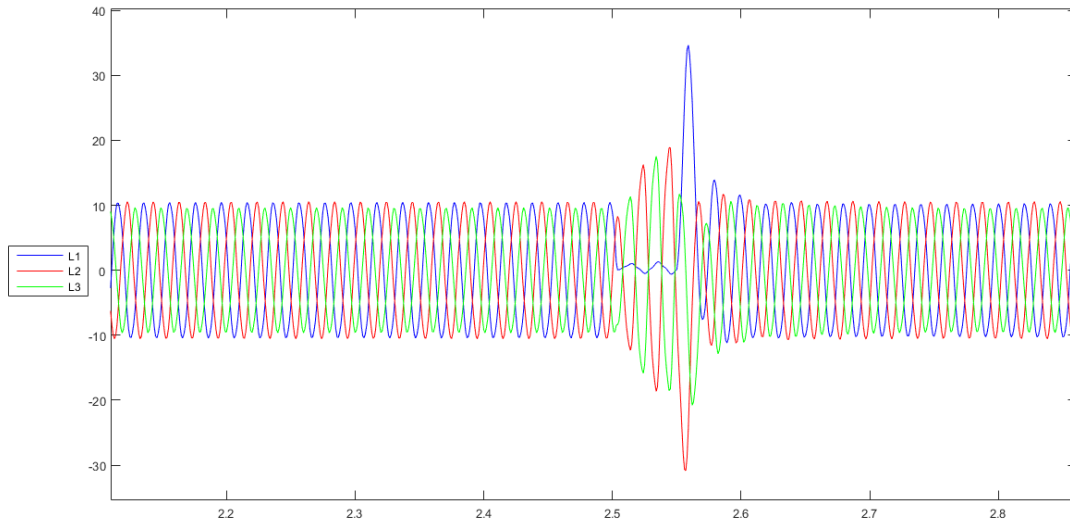
Εικόνα 95: Source Voltages (40% V_n , 50msec, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



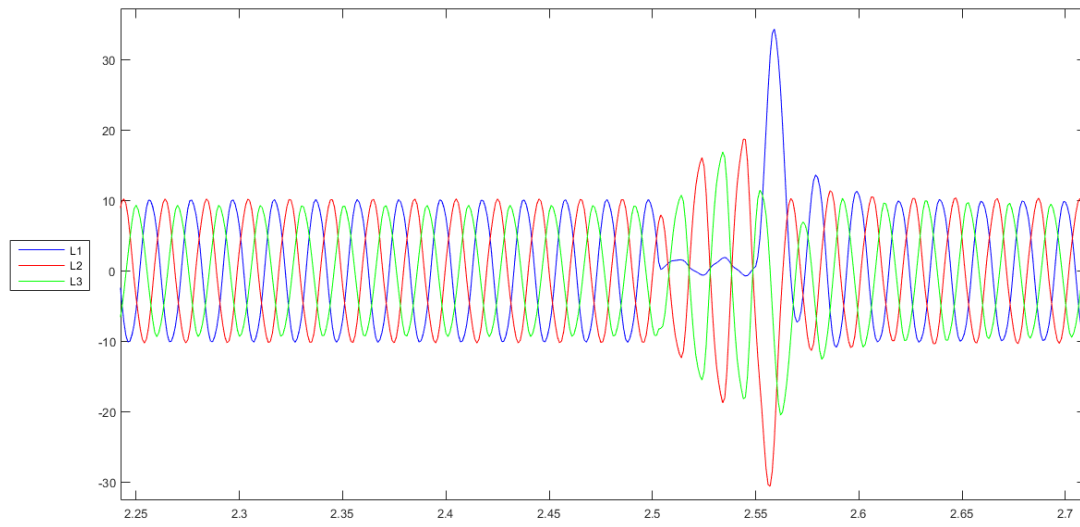
Εικόνα 96: Load Voltages (40% V_n , 50msec, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



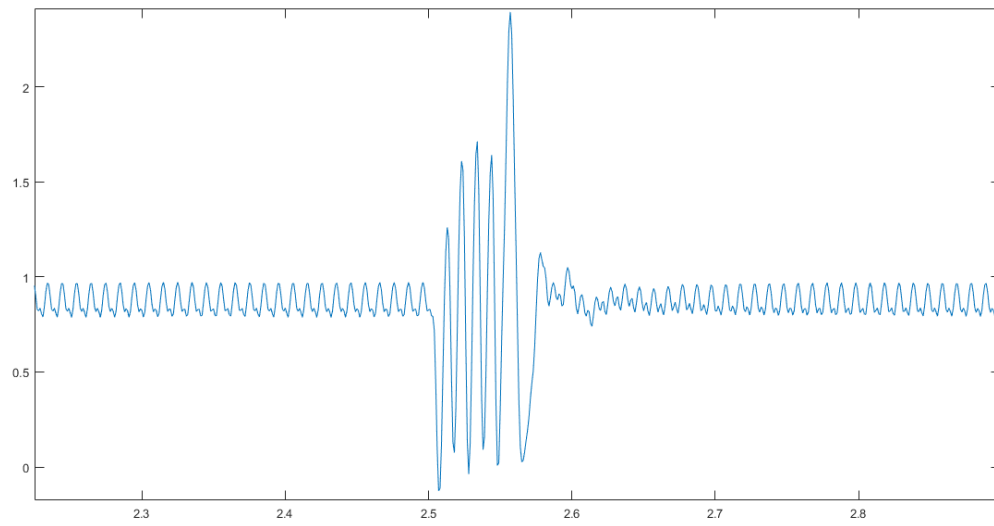
Εικόνα 97: Source Currents (40% V_n , 50msec, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



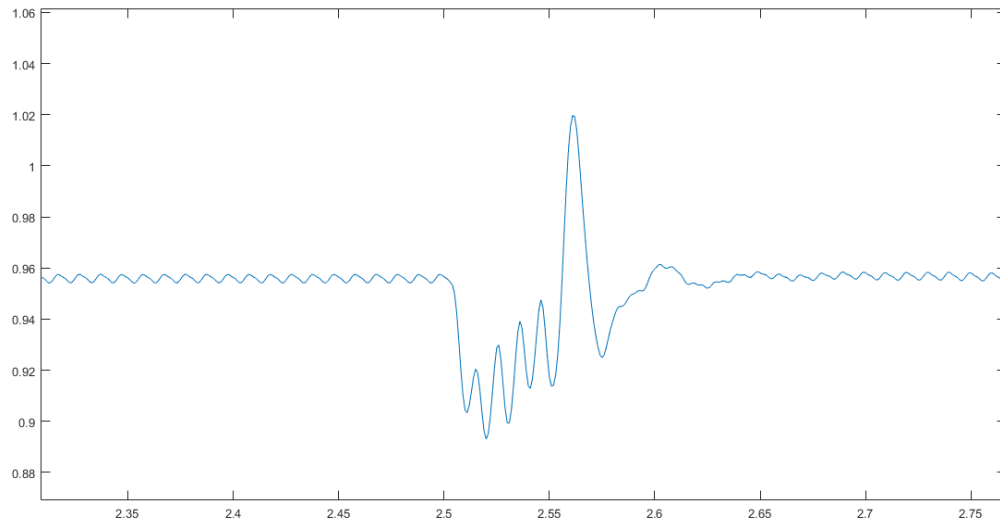
Εικόνα 98: Load Currents (40% V_n , 50msec, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



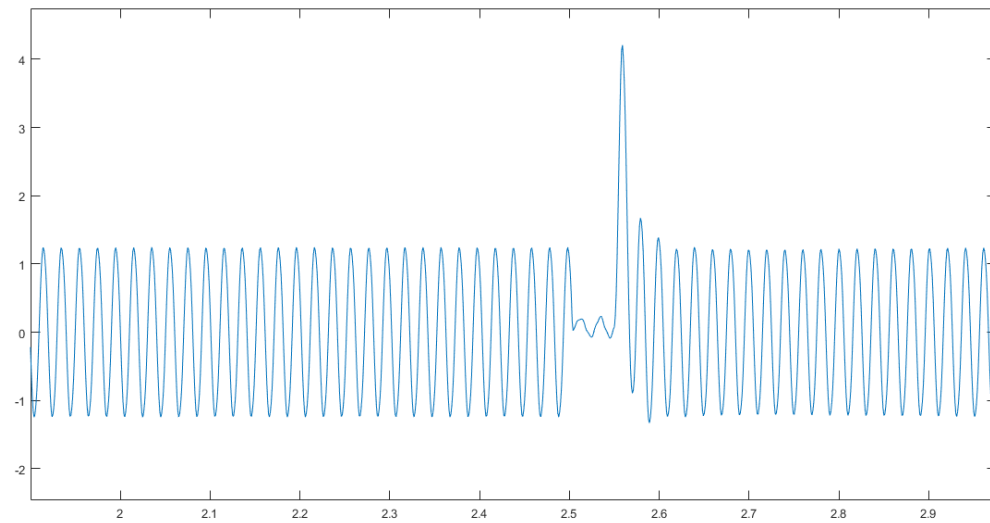
Εικόνα 99: T_e (40% V_n , 50msec, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 100: Rotor Speed (40% V_n , 50msec, Emulator)

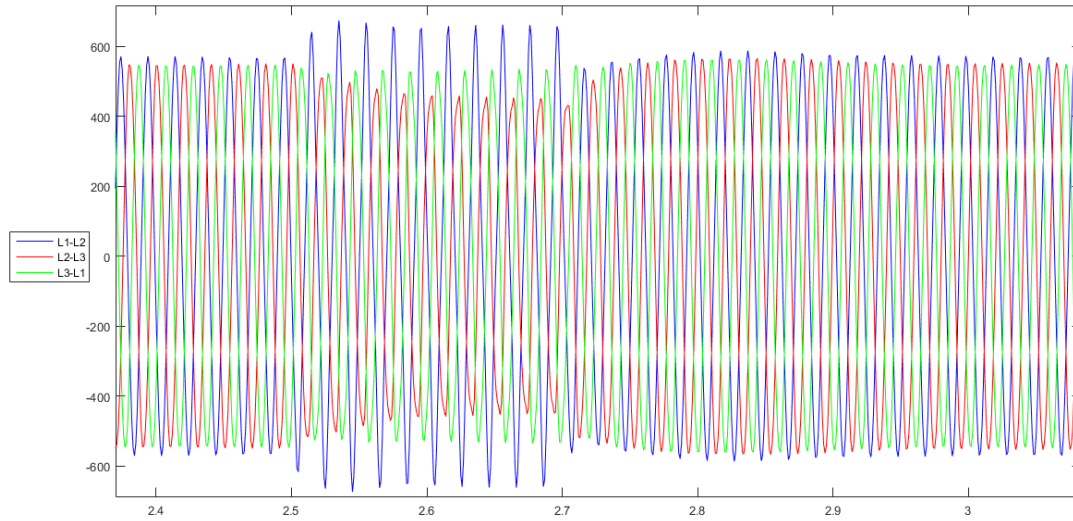
Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 101: I_s (40% V_n , 50msec, Emulator)

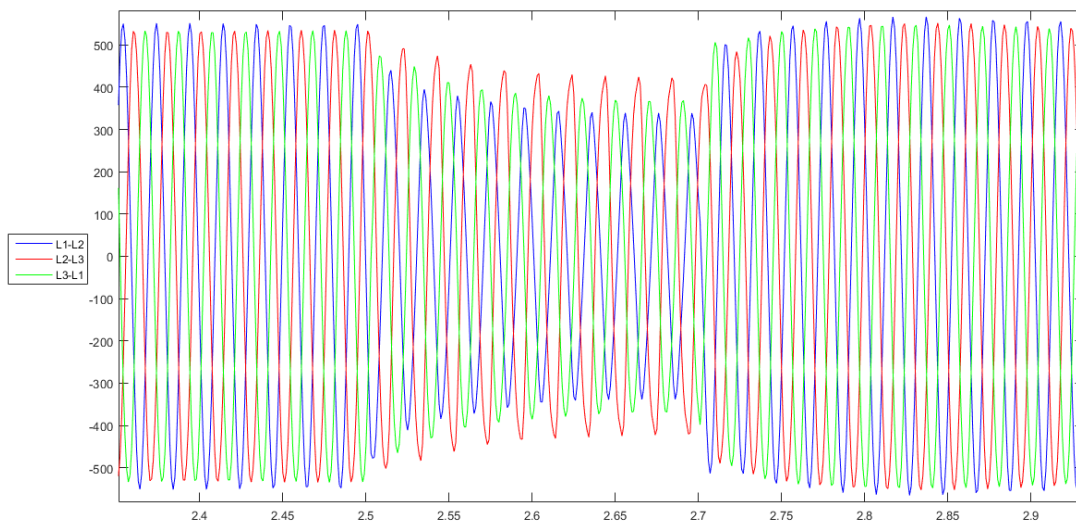
- 60%Vn,10cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



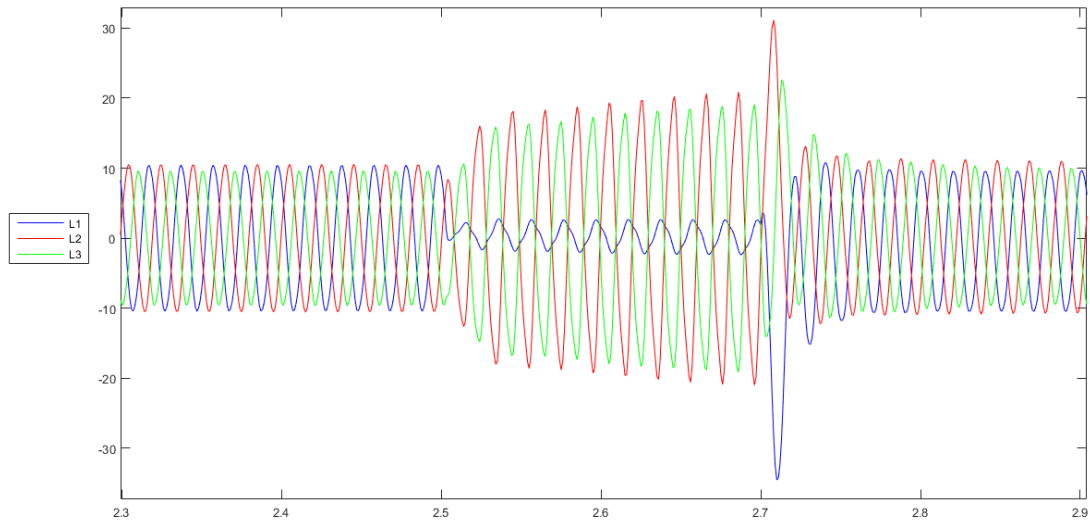
Εικόνα 102: Source Voltages (60% Vn, 10cycles, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



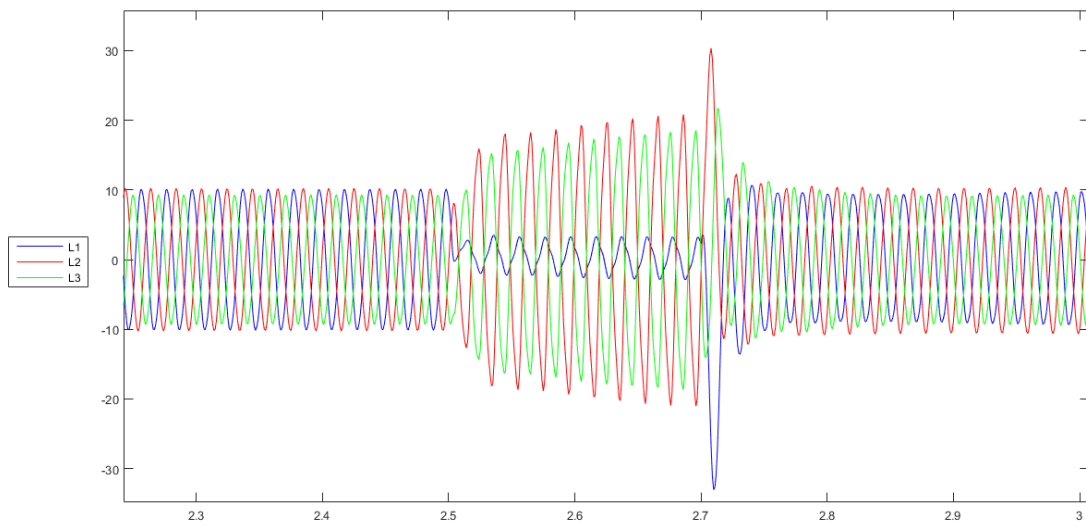
Εικόνα 103: Load Voltages (60% Vn, 10cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



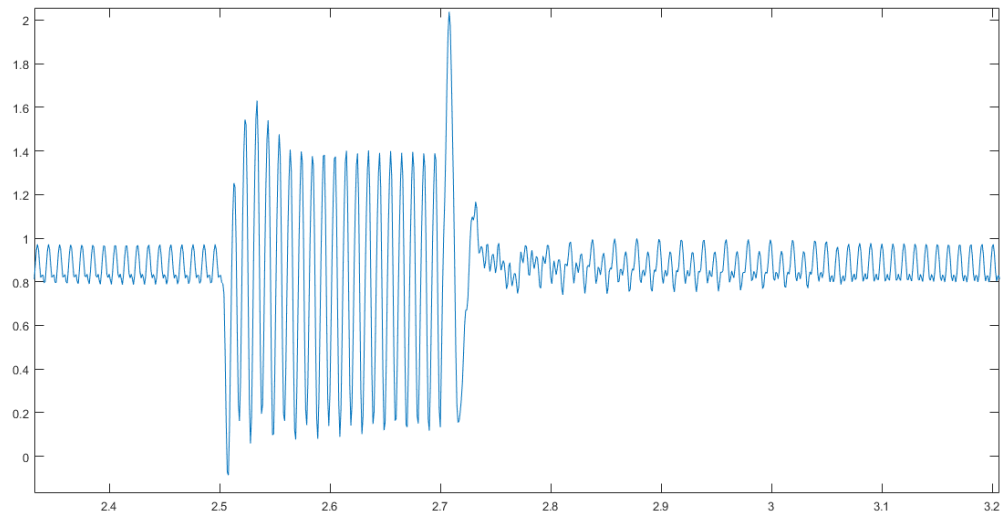
Εικόνα 104: Source Currents (60% V_n , 10cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



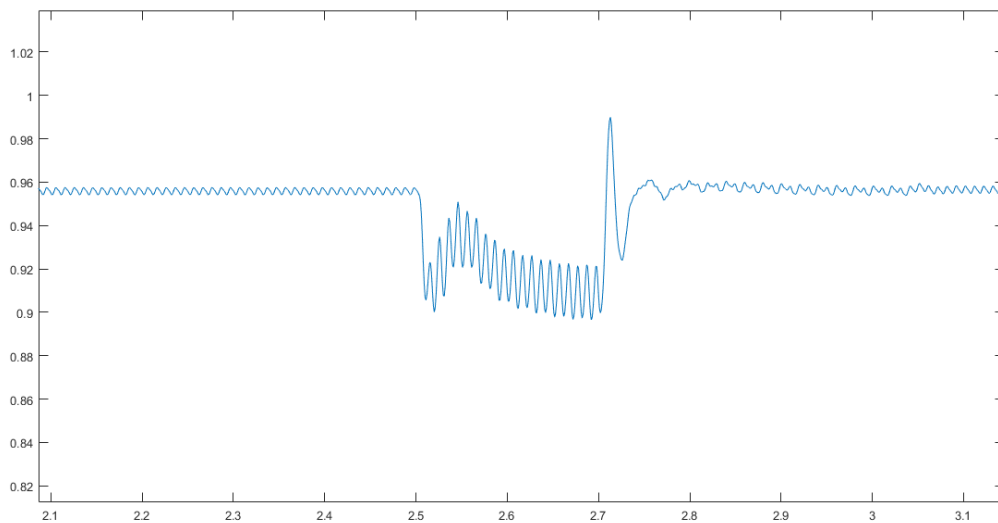
Εικόνα 105: Load Currents (60% V_n , 10cycles, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



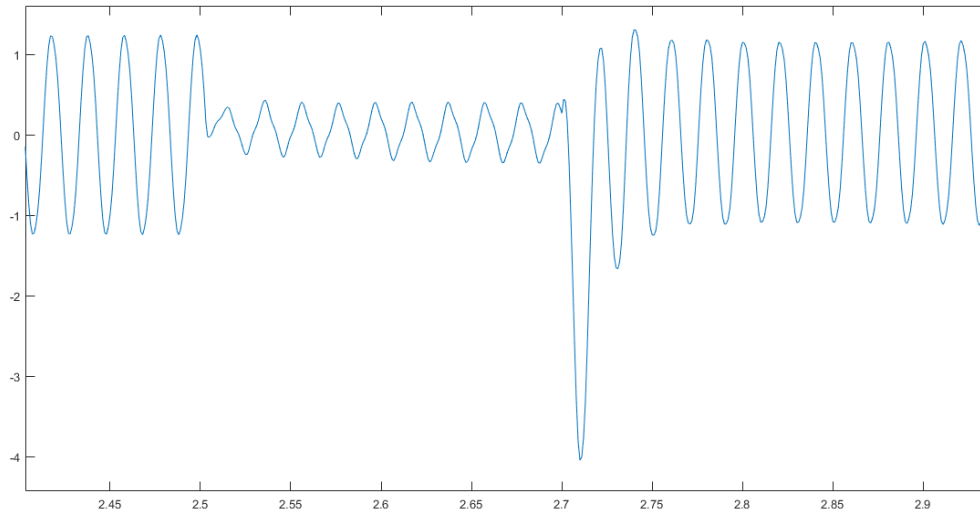
Εικόνα 106: T_e (60% V_n , 10cycles, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 107: Rotor Speed (60% V_n , 10cycles, Emulator)

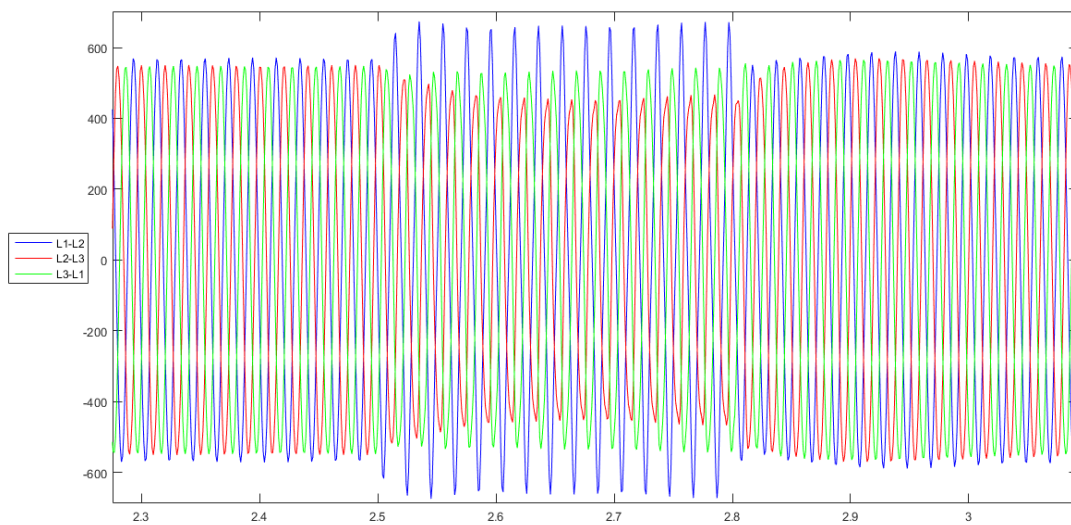
Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 108: Is (60% Vn, 10cycles, Emulator)

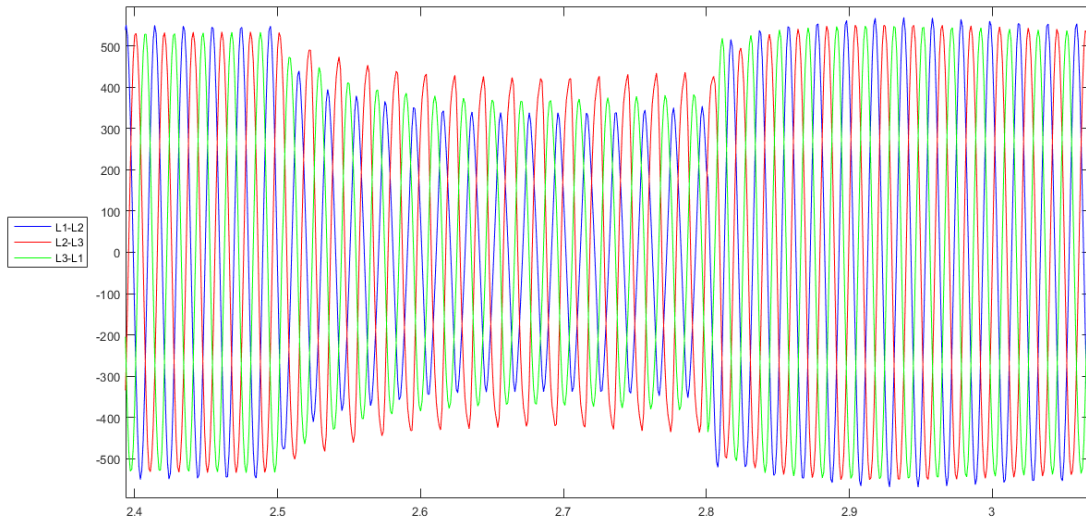
- 60%Vn,15cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



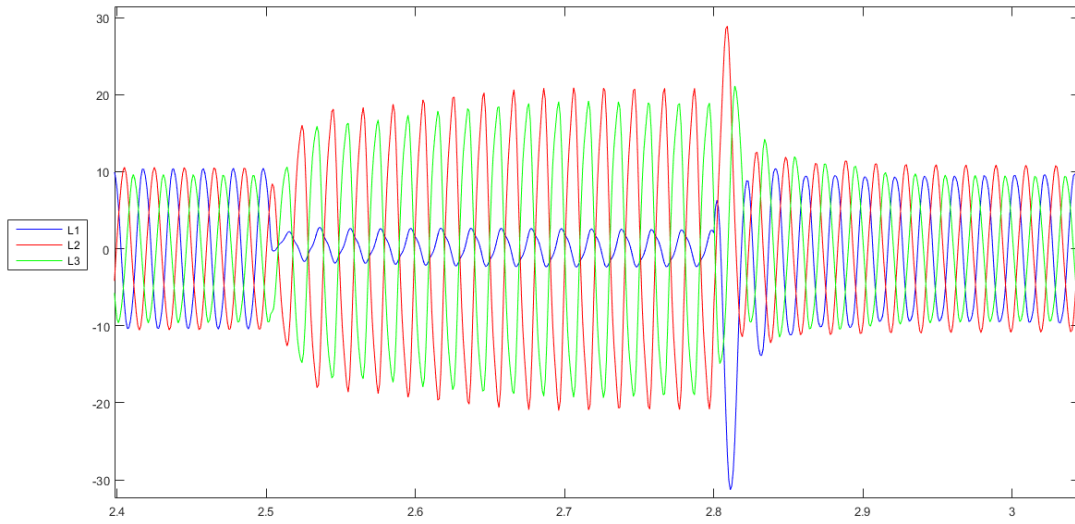
Εικόνα 109: Source Voltages (60% Vn, 15cycles, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



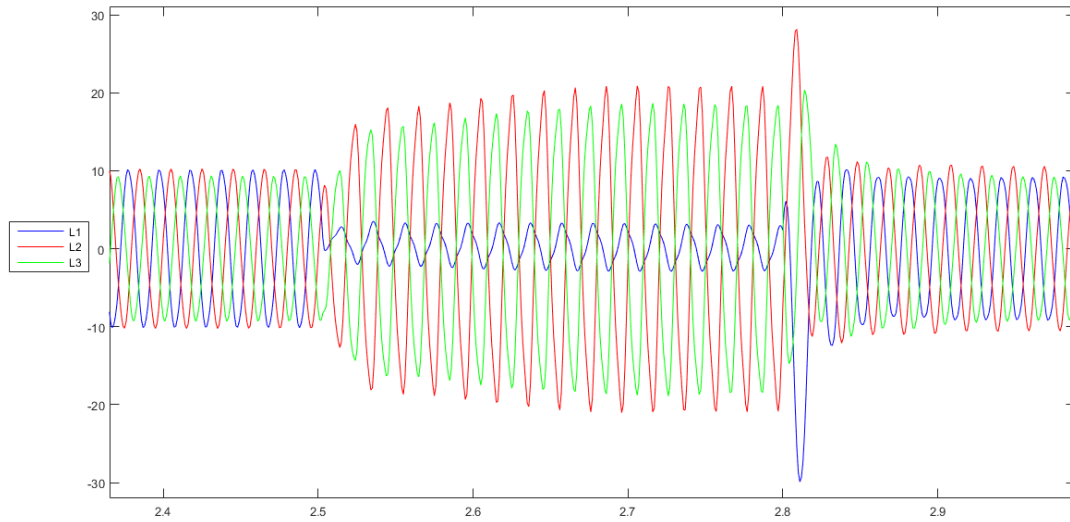
Εικόνα 110: Load Voltages (60% V_n , 15cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



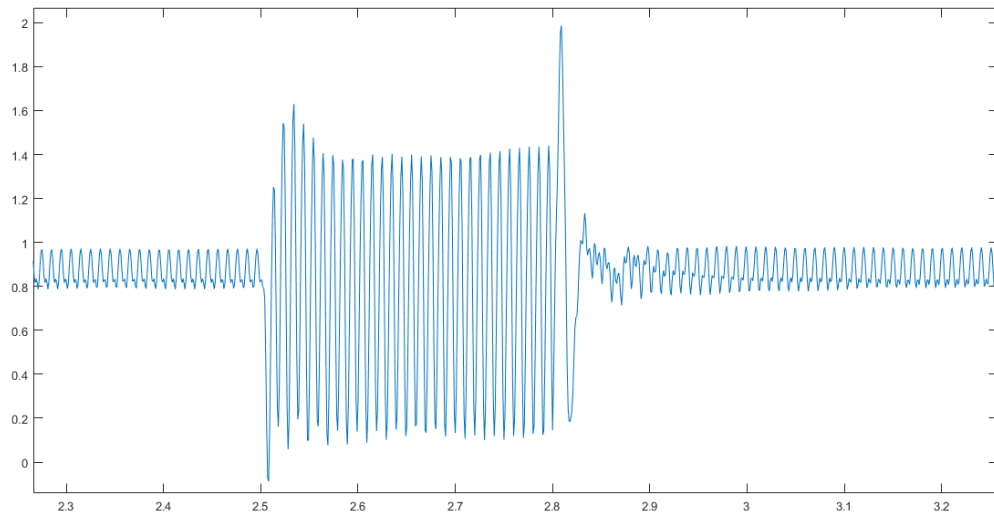
Εικόνα 111: Source Currents (60% V_n , 15cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



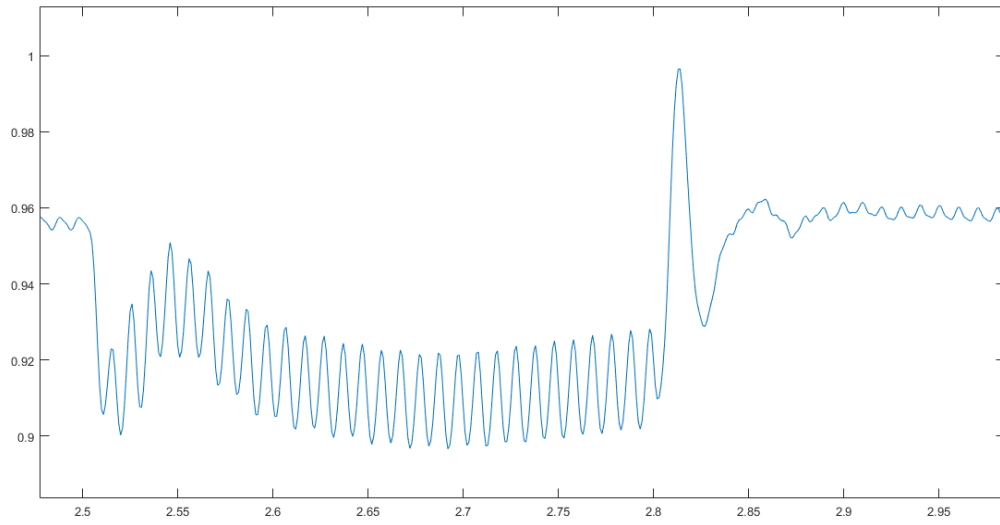
Εικόνα 112: Load Currents (60% V_n , 15cycles, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



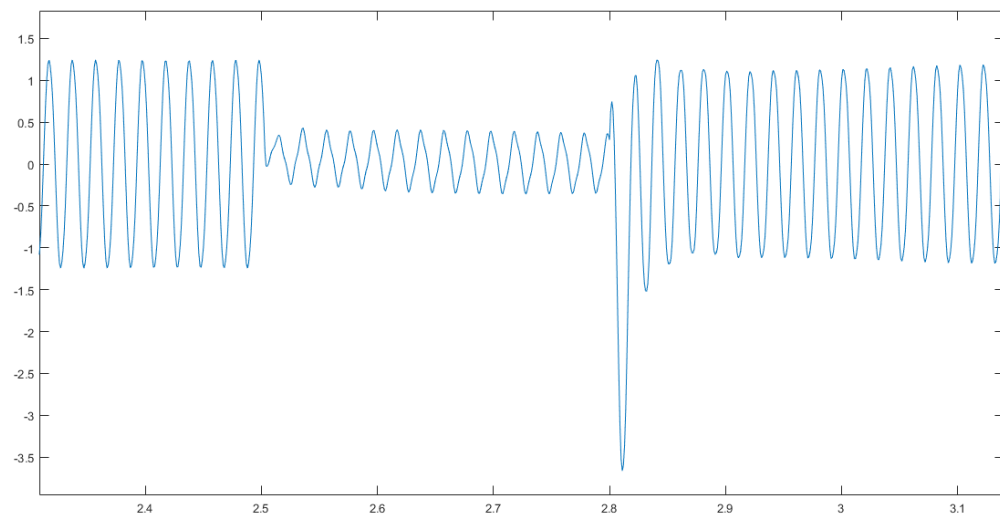
Εικόνα 113: T_e (60% V_n , 15cycles, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 114: Rotor Speed (60% V_n , 15cycles, Emulator)

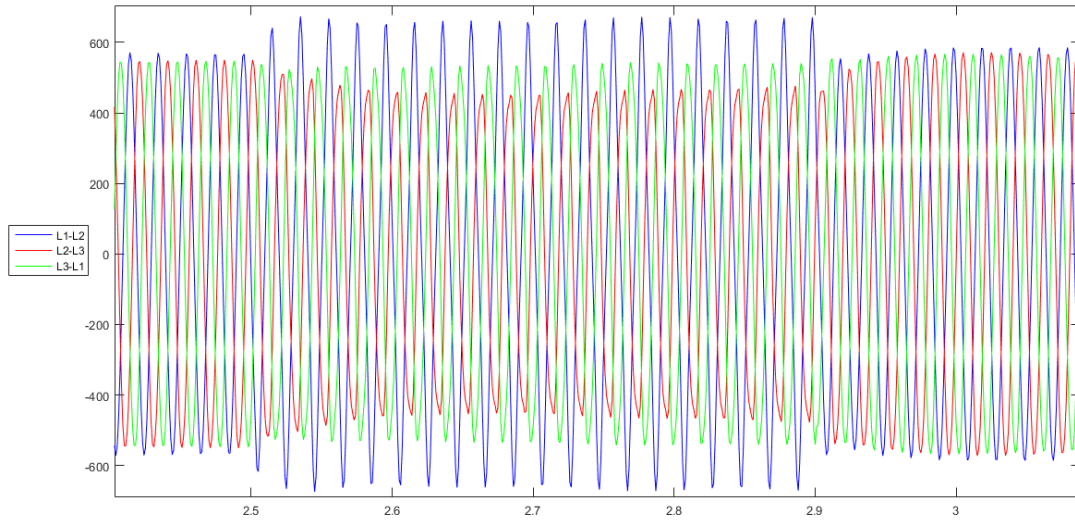
Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 115: I_s (60% V_n , 15cycles, Emulator)

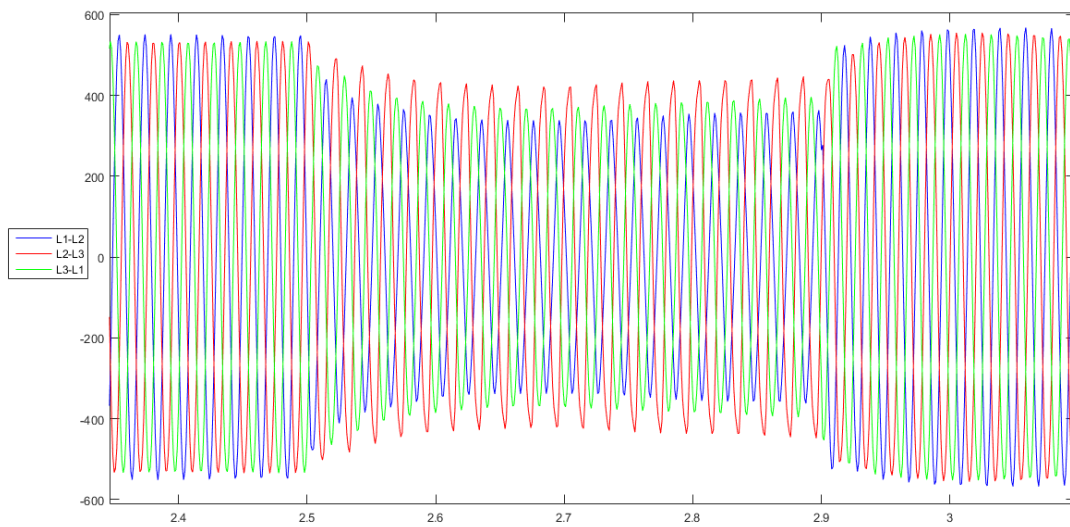
- 60%Vn,20cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



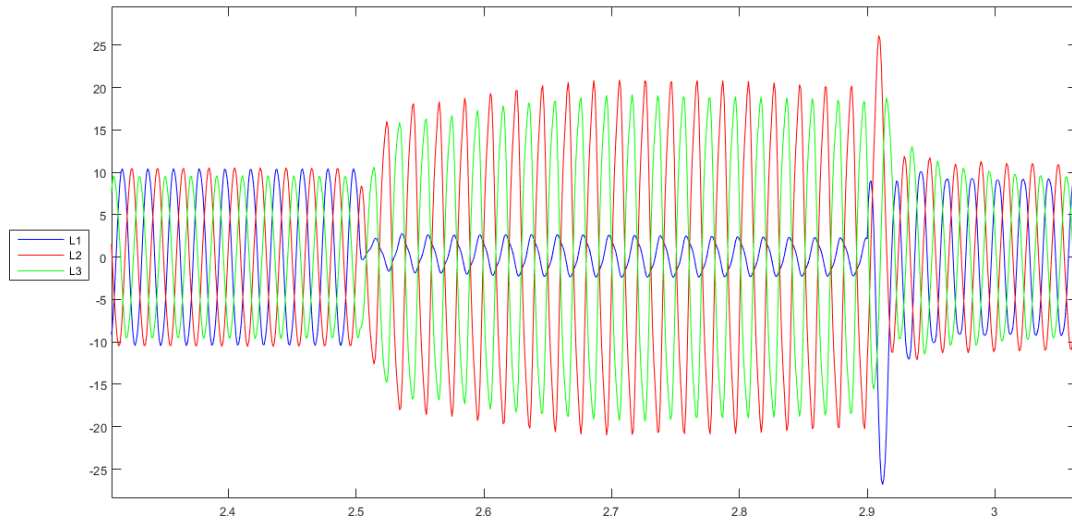
Εικόνα 116: Source Voltages (60% Vn, 20cycles, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



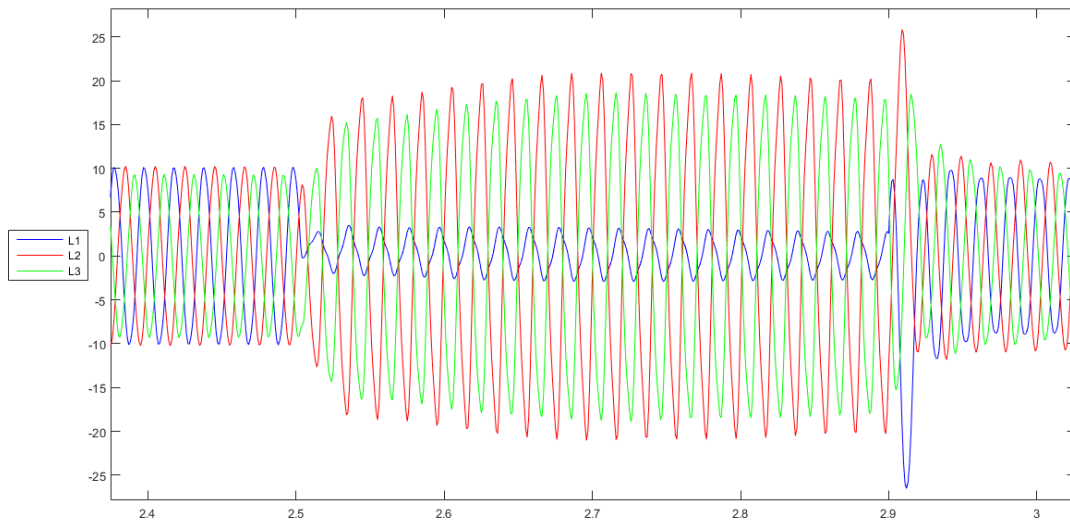
Εικόνα 117: Load Voltages (60% Vn, 20cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



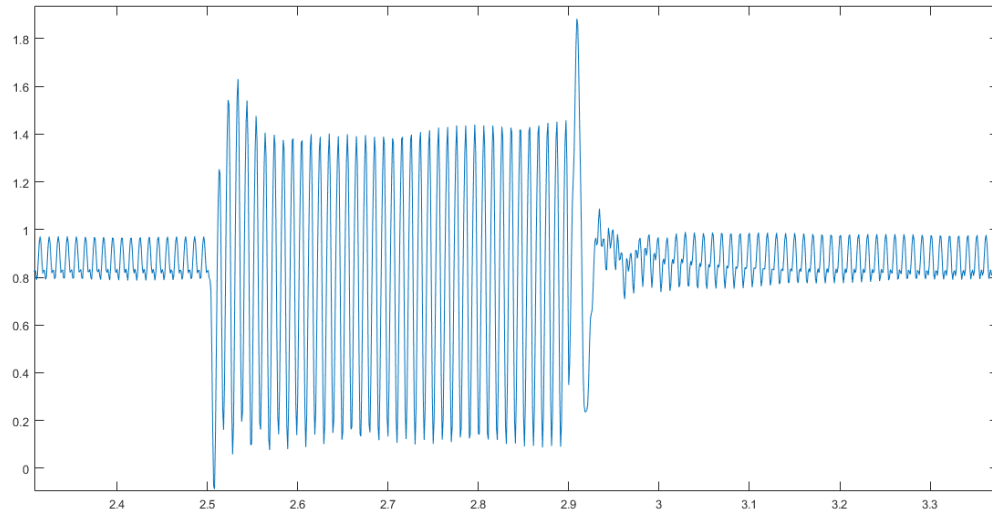
Εικόνα 118: Source Currents (60% Vn, 20cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



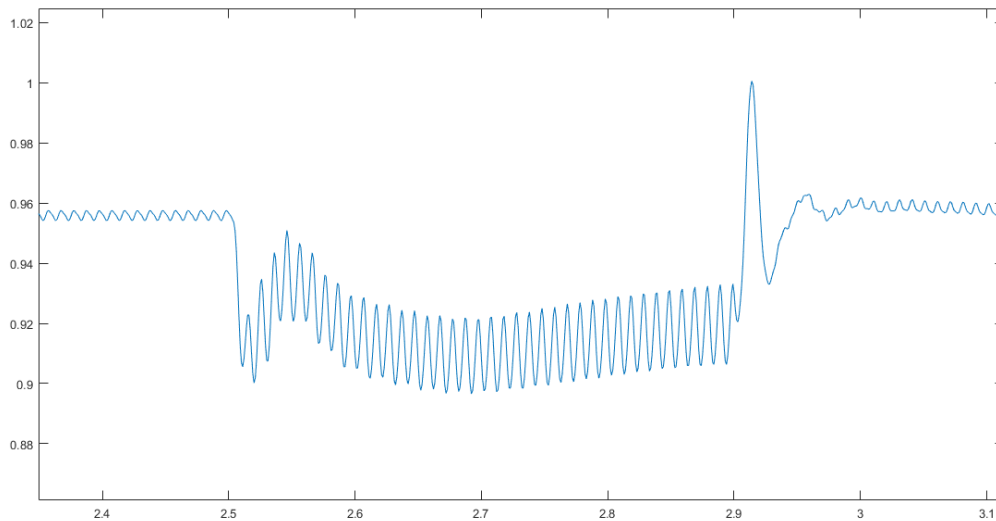
Εικόνα 119: Load Currents (60% Vn, 20cycles, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



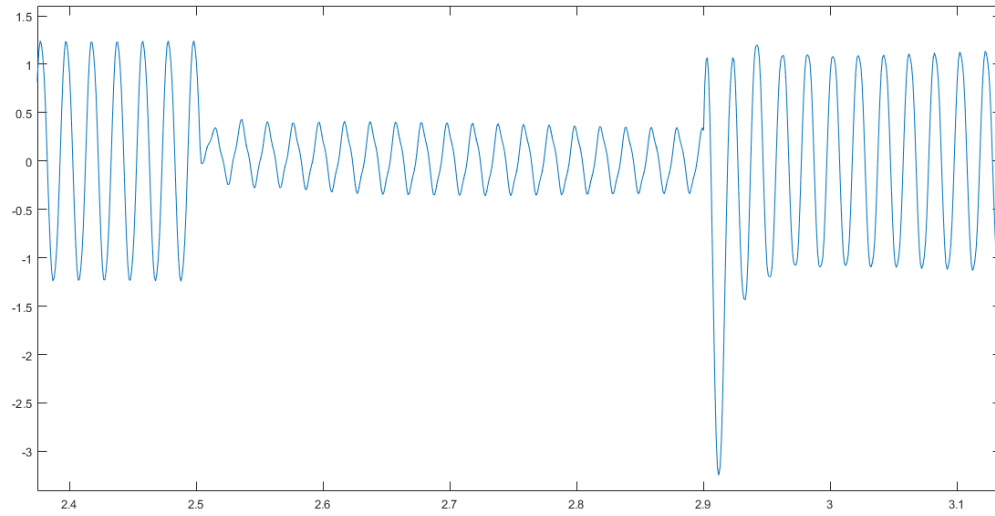
Εικόνα 120: T_e (60% V_n , 20cycles, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 121: Rotor Speed (60% V_n , 20cycles, Emulator)

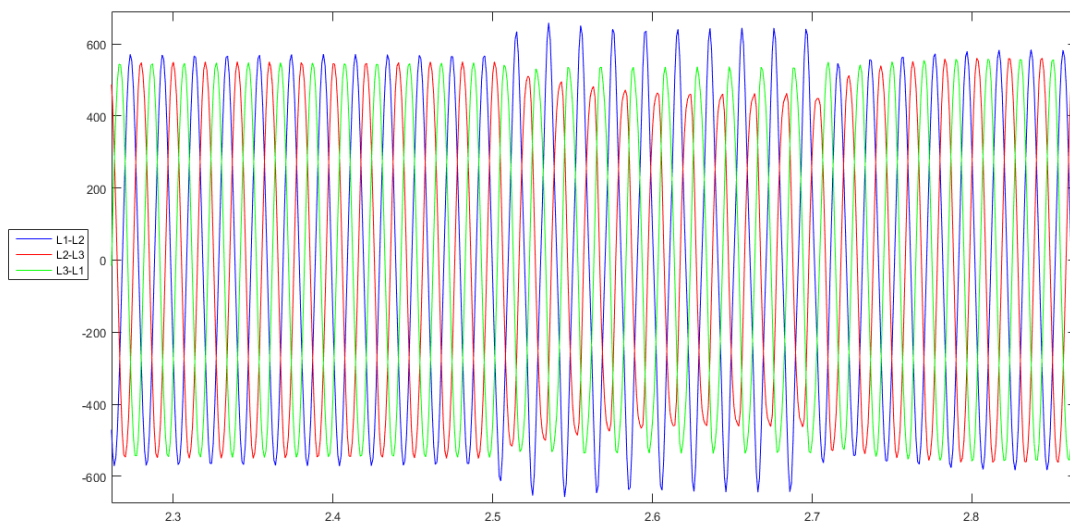
Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 122: I_s (60% V_n , 20cycles, Emulator)

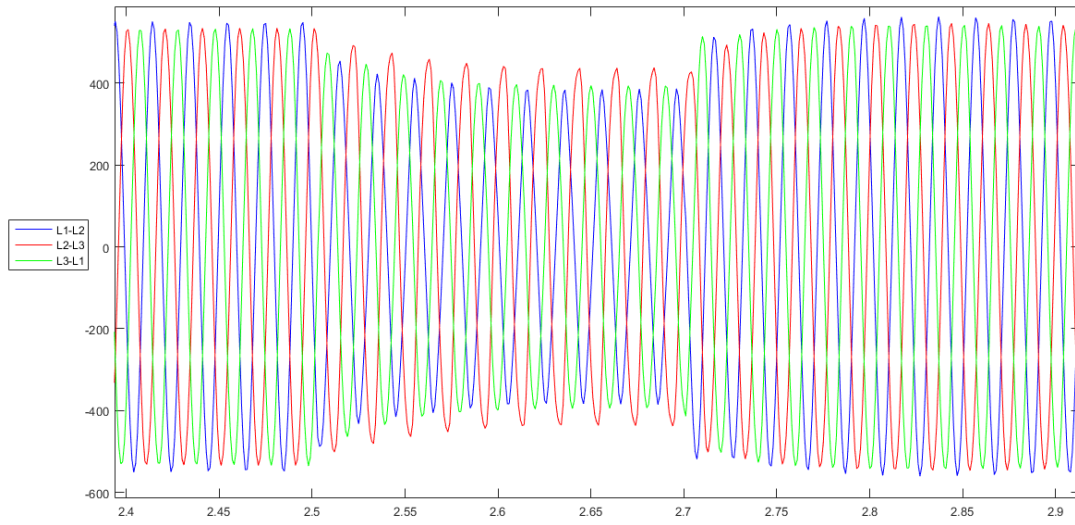
- 70% V_n , 10cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



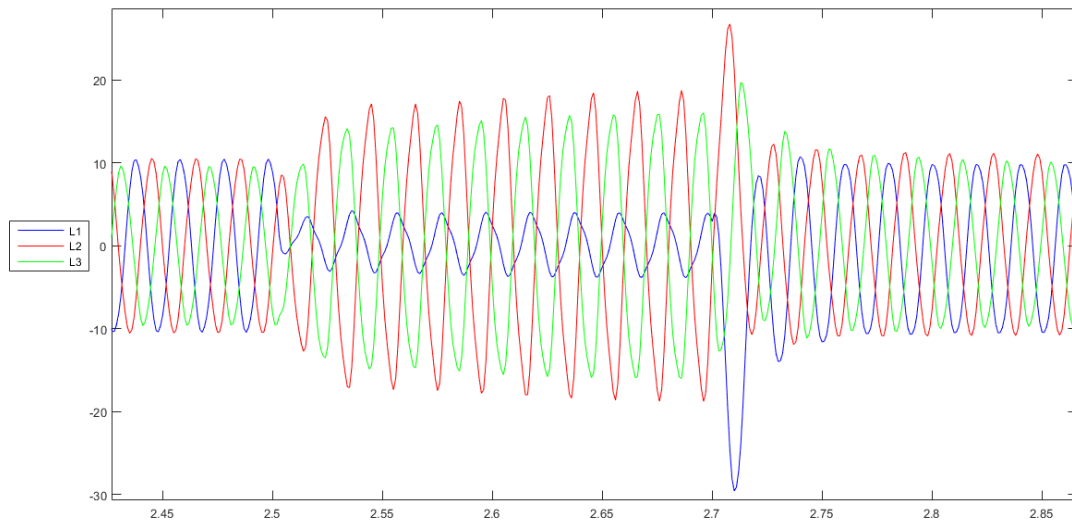
Εικόνα 123: Source Voltages (70% V_n , 10cycles, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



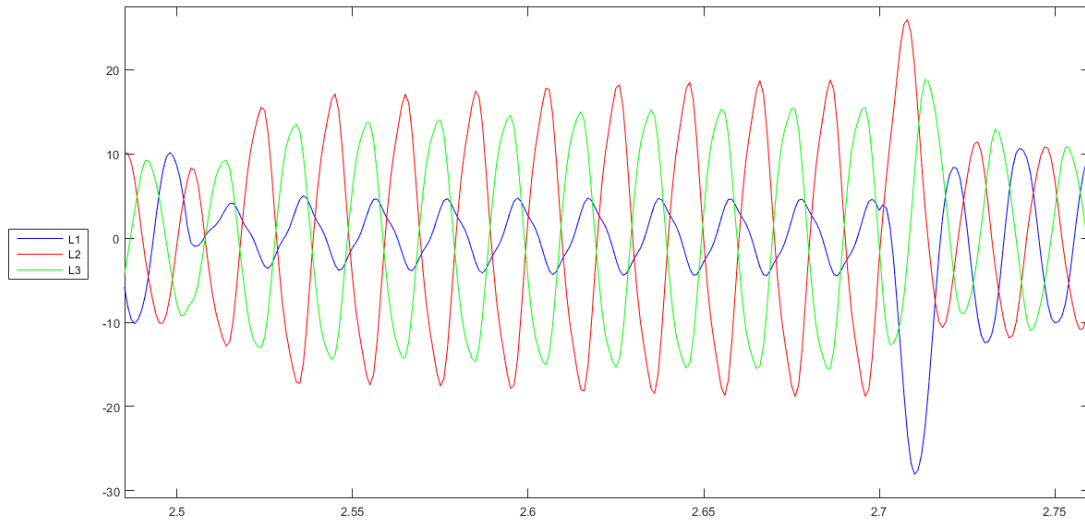
Εικόνα 124: Load Voltages (70% V_n , 10cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



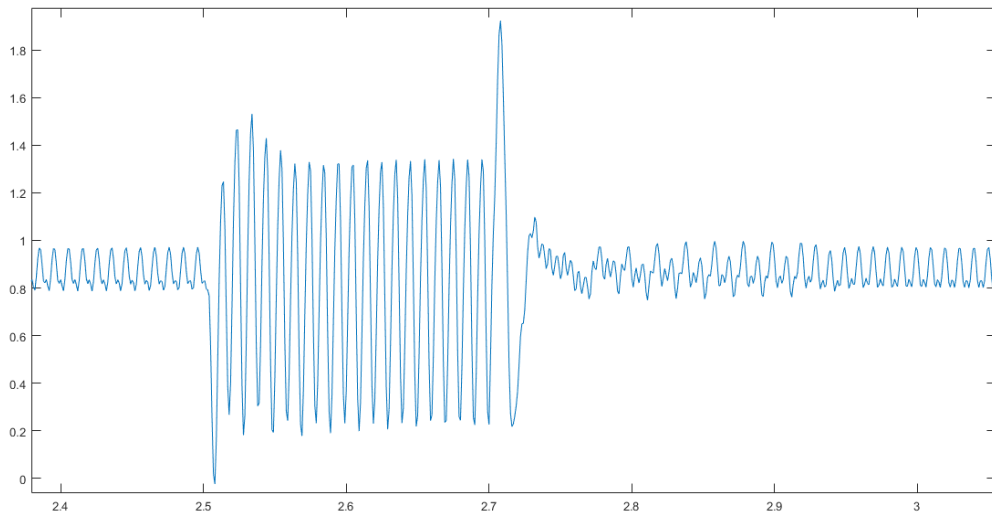
Εικόνα 125: Source Currents (70% V_n , 10cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



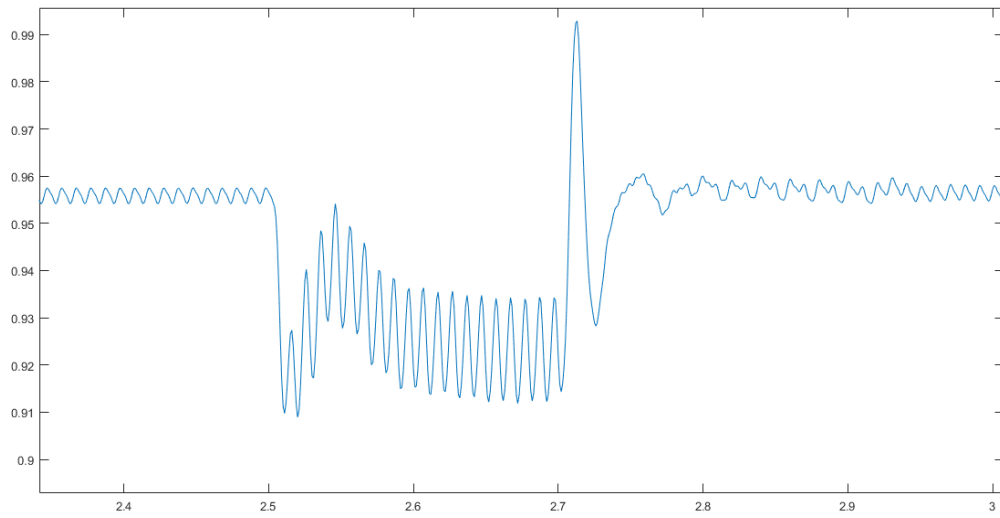
Εικόνα 126: Load Currents (70% Vn, 10cycles, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



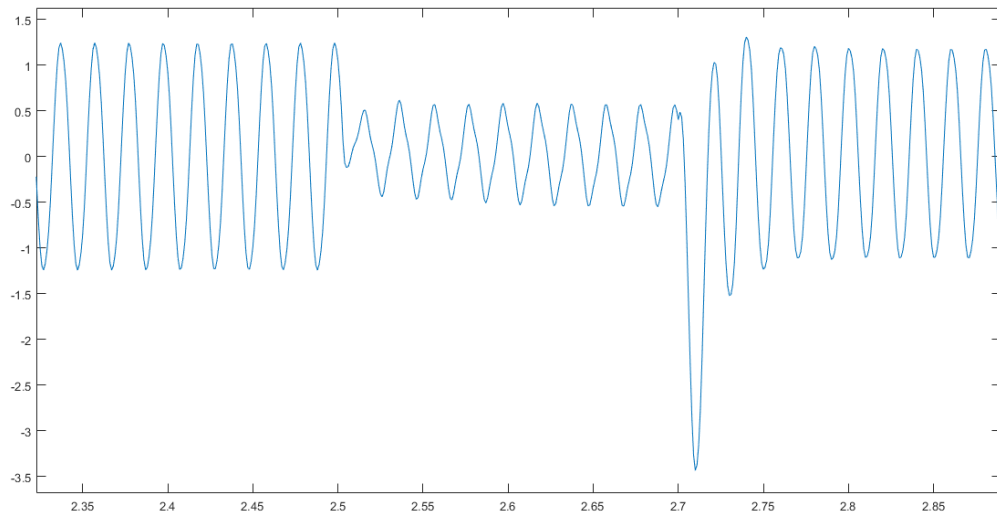
Εικόνα 127: T_e (70% Vn, 10cycles, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 128: Rotor Speed (70% V_n , 10cycles, Emulator)

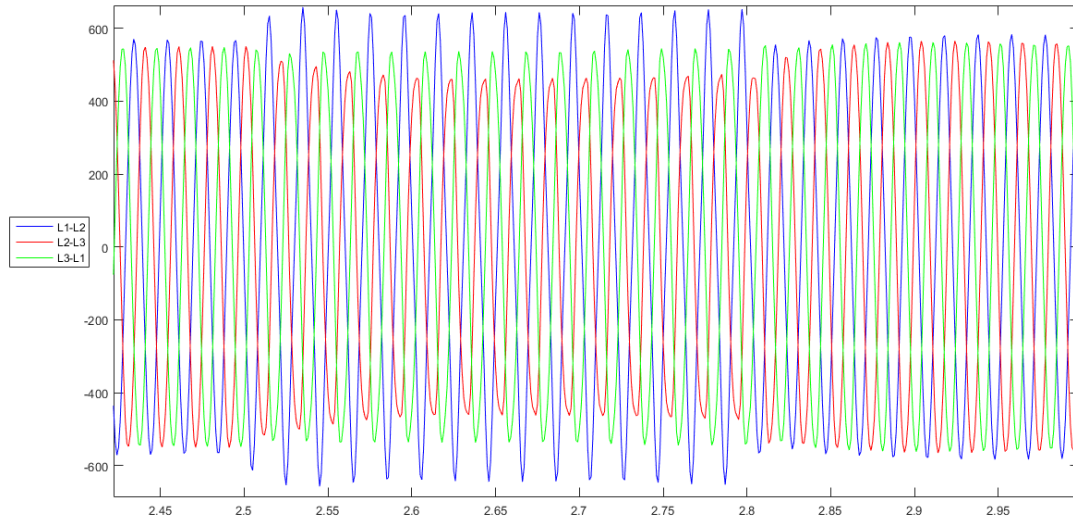
Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 129: I_s (70% V_n , 10cycles, Emulator)

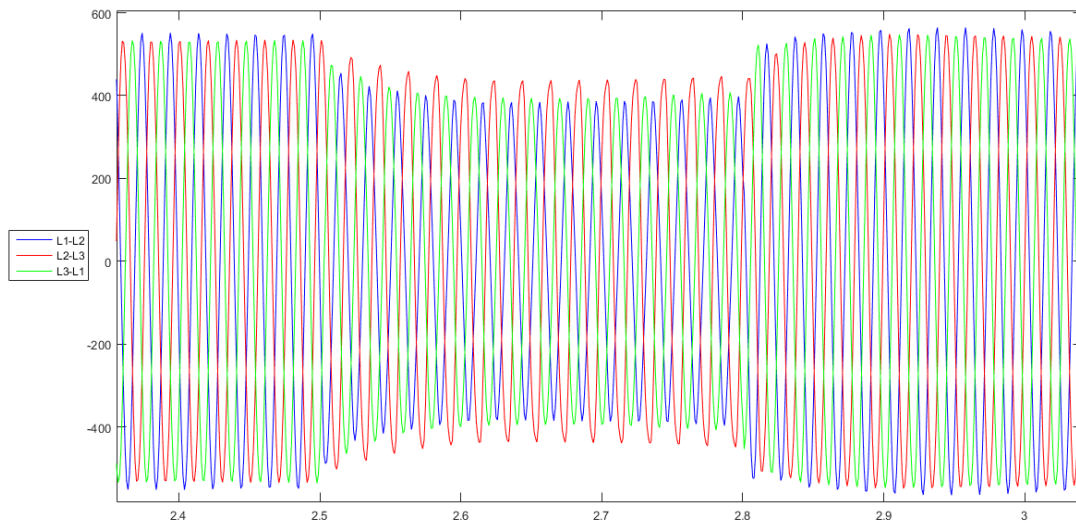
- 70%Vn,15cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



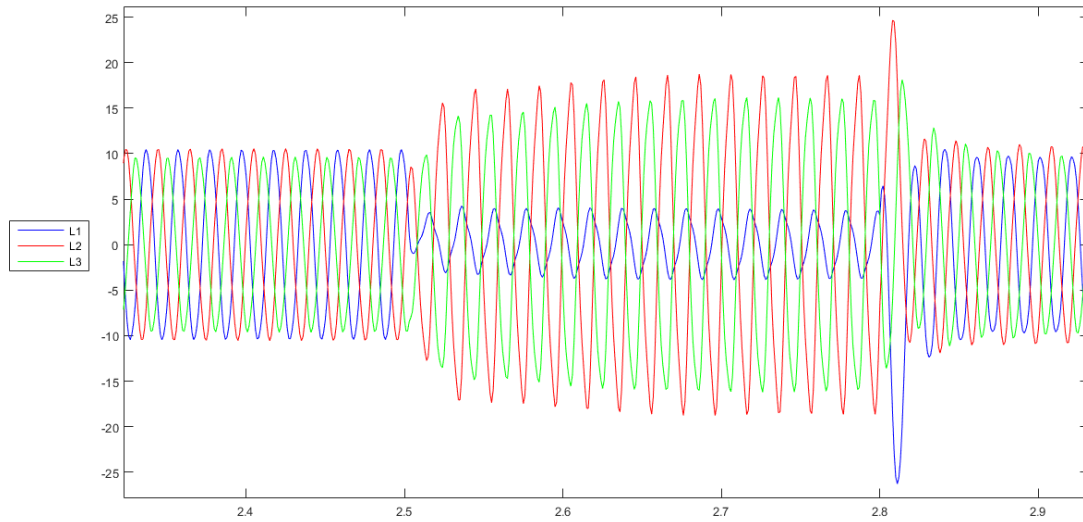
Εικόνα 130: Source Voltages (70% Vn, 15cycles, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



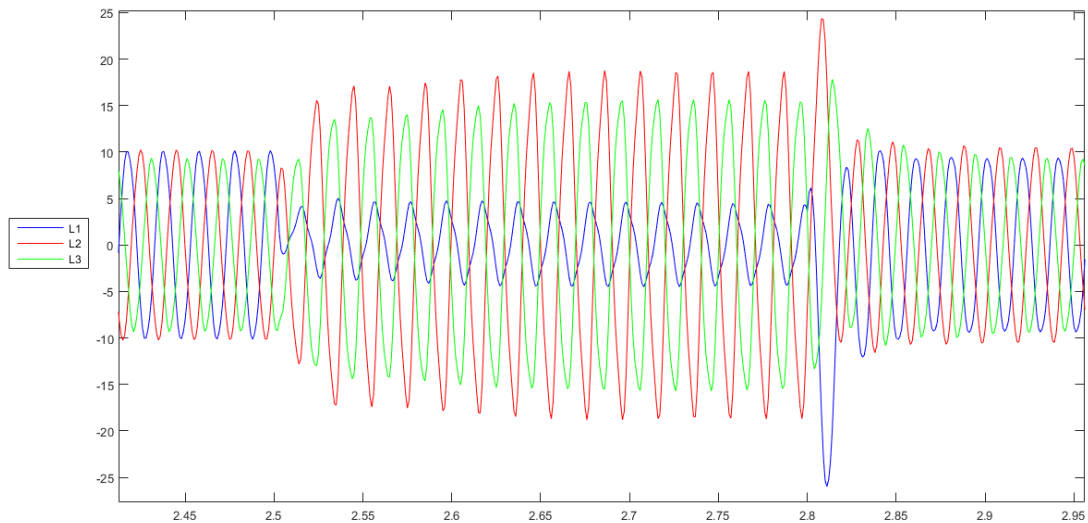
Εικόνα 131: Load Voltages (70% Vn, 15cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



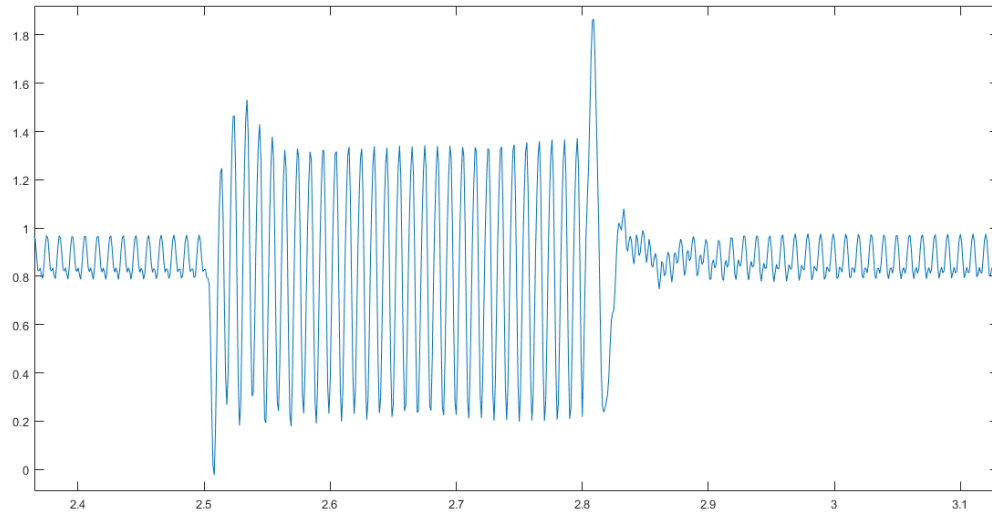
Εικόνα 132: Source Currents (70% V_n , 15cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



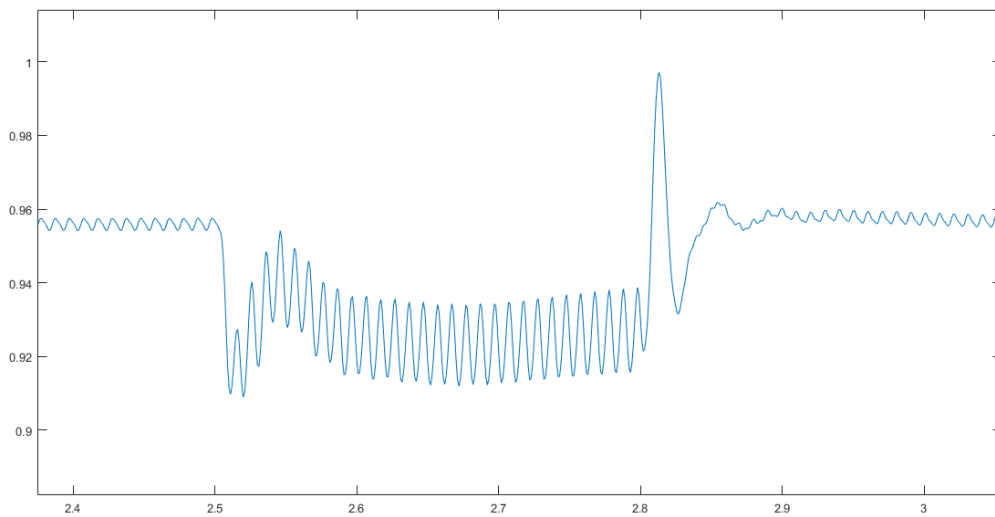
Εικόνα 133: Load Currents (70% V_n , 15cycles, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



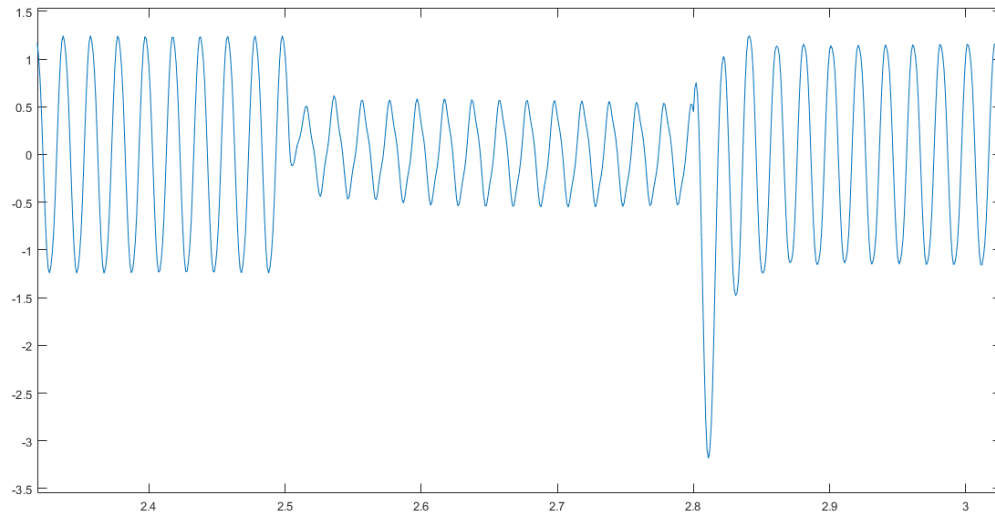
Εικόνα 134: T_e (70% V_n , 15cycles, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 135: Rotor Speed (70% V_n , 15cycles, Emulator)

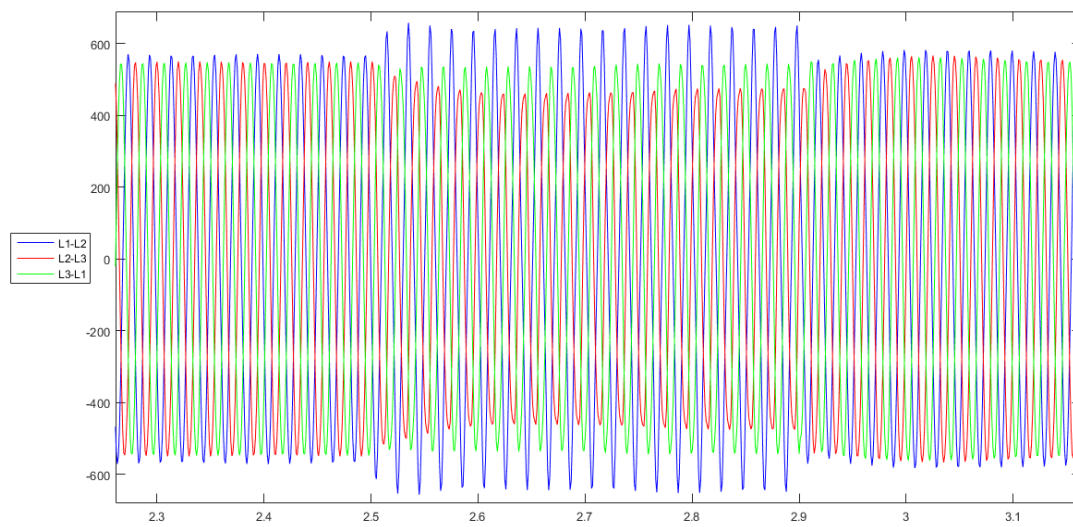
Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 136: I_s (70% V_n , 15cycles, Emulator)

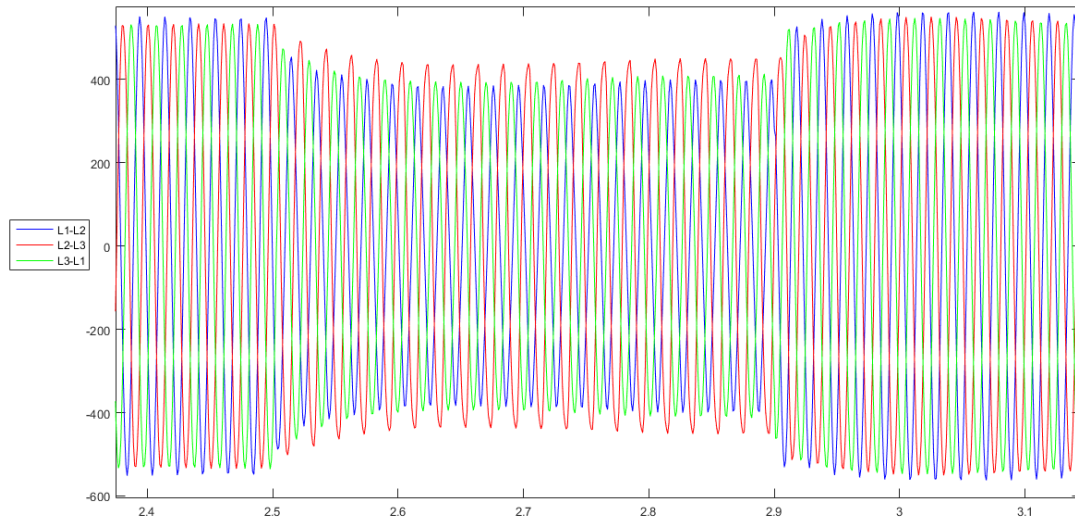
- 70% V_n , 20cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



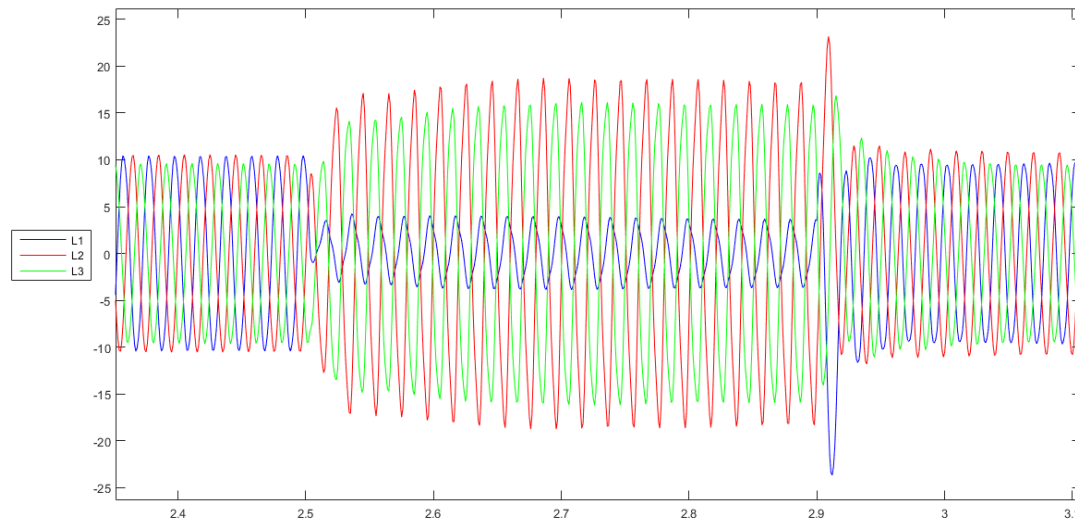
Εικόνα 137: Source Voltages (70% V_n , 20cycles, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



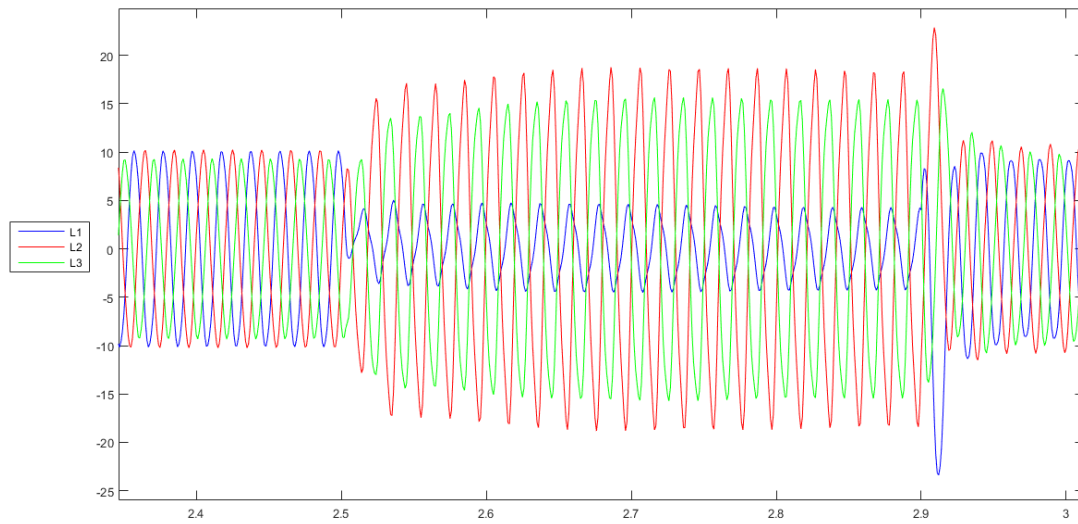
Εικόνα 138: Load Voltages (70% V_n , 20cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



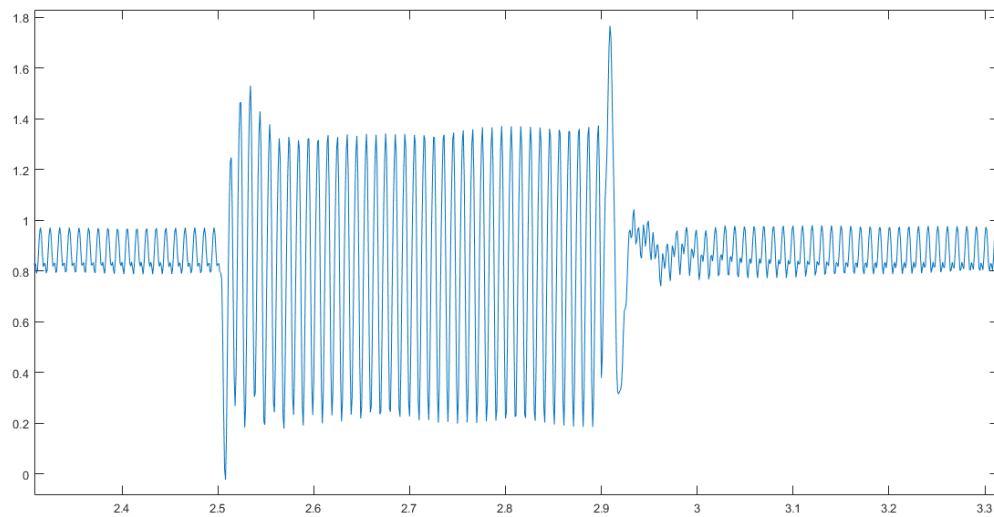
Εικόνα 139: Source Currents (70% V_n , 20cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



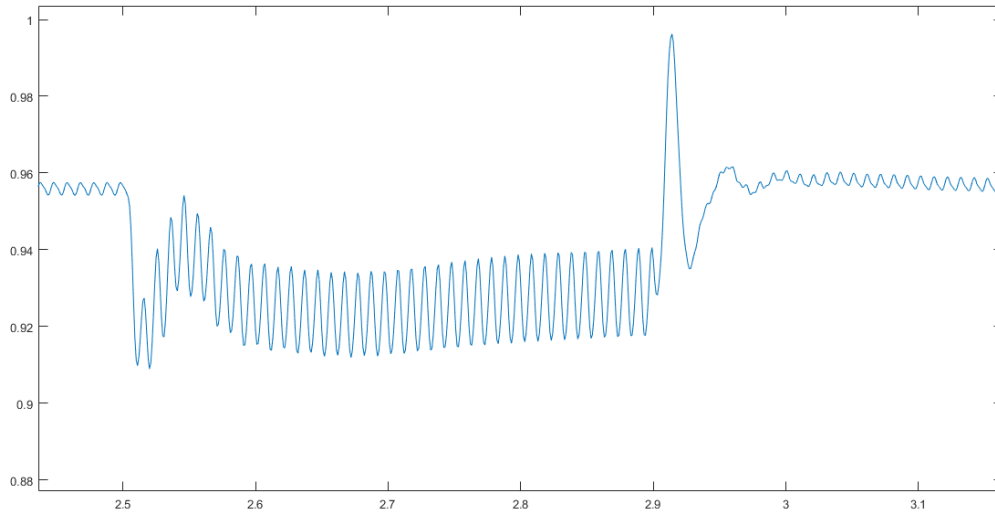
Εικόνα 140: Load Currents (70% Vn, 20cycles, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



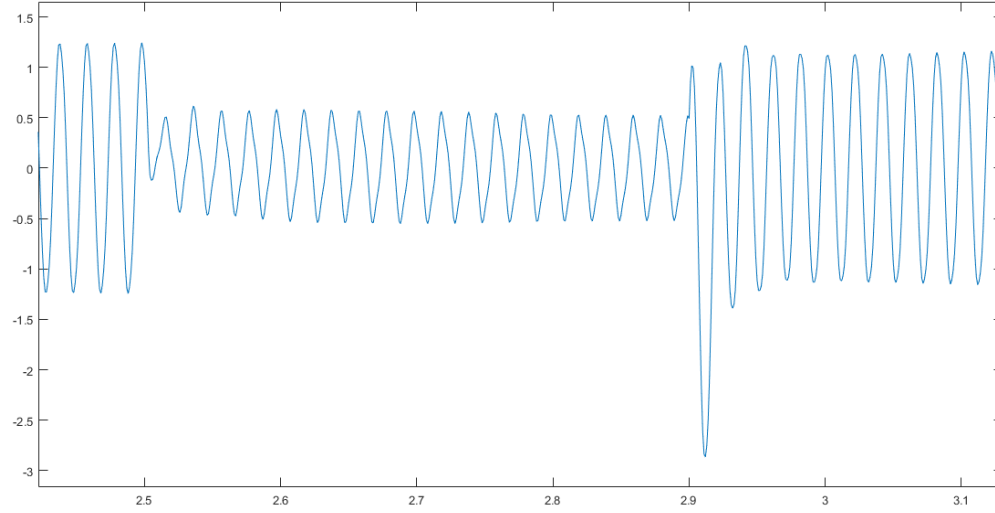
Εικόνα 141: Te (70% Vn, 20cycles, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 142: Rotor Speed (70% V_n , 20cycles, Emulator)

Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 143: i_s (70% V_n , 20cycles, Emulator)

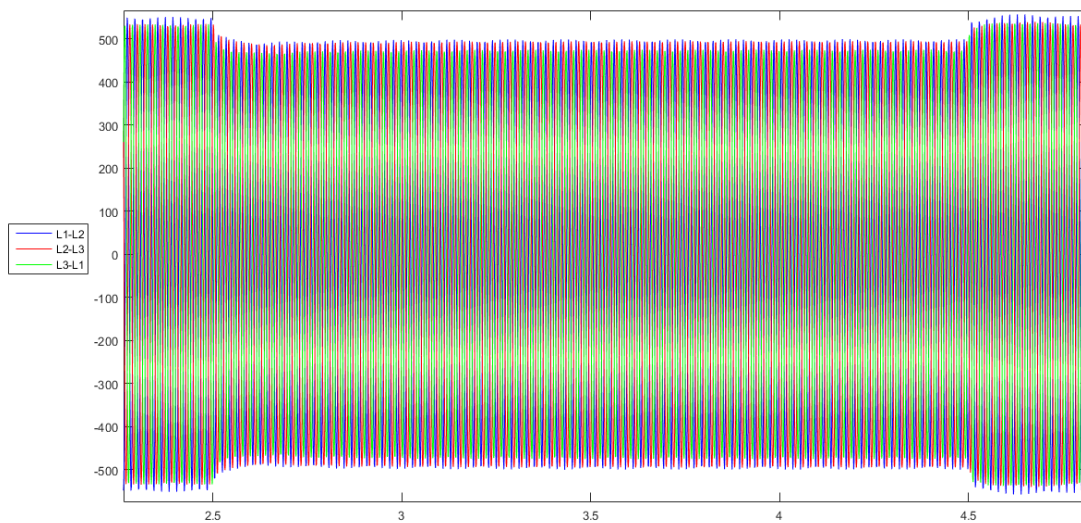
- 87%Vn,2sec

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



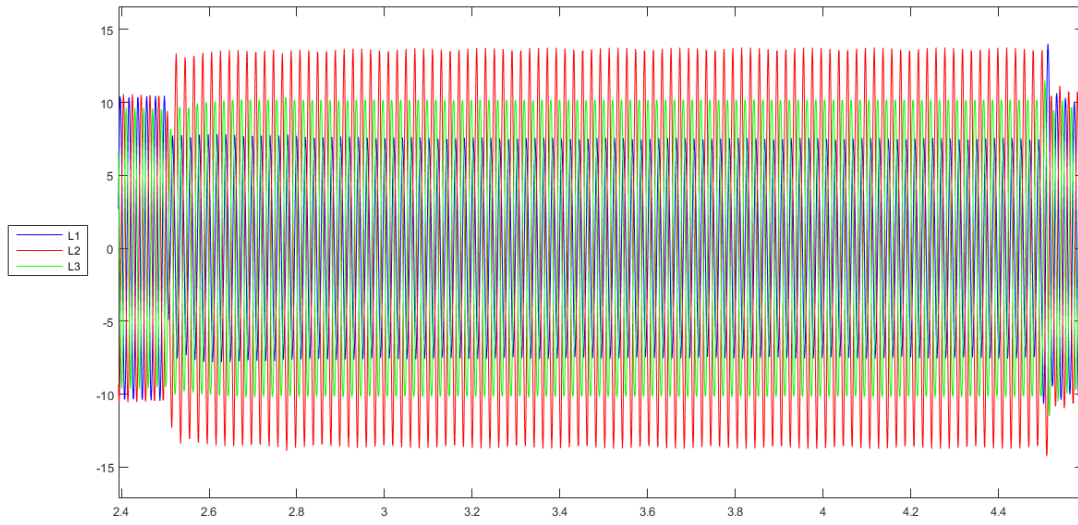
Εικόνα 144: Source Voltages (87% Vn, 2sec, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



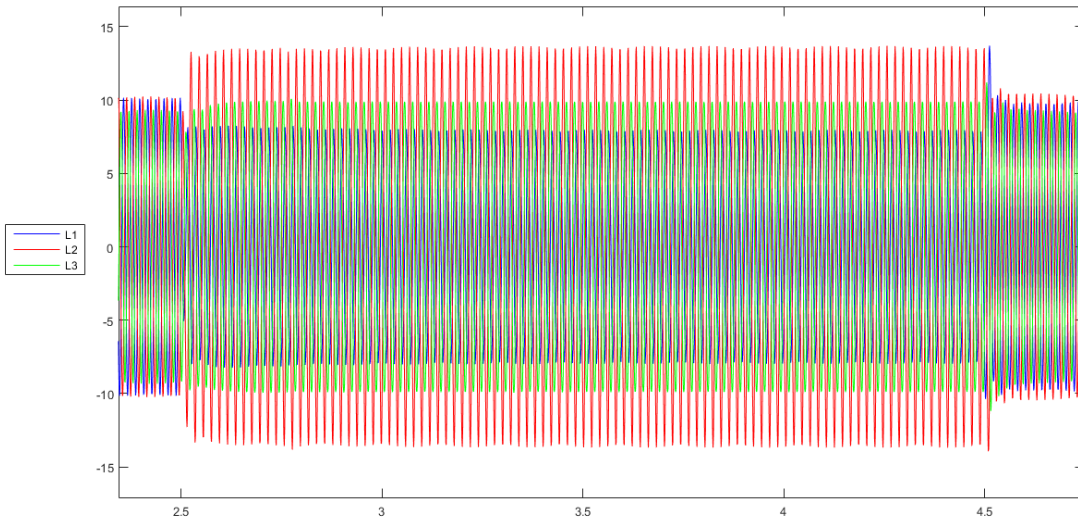
Εικόνα 145: Load Voltages (87% Vn, 2sec, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



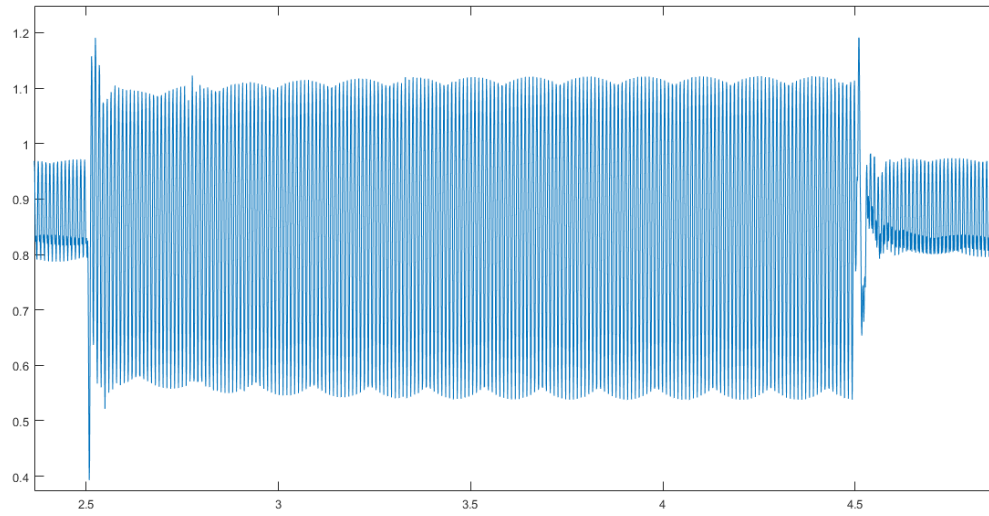
Εικόνα 146: Source Currents (87% Vn, 2sec, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



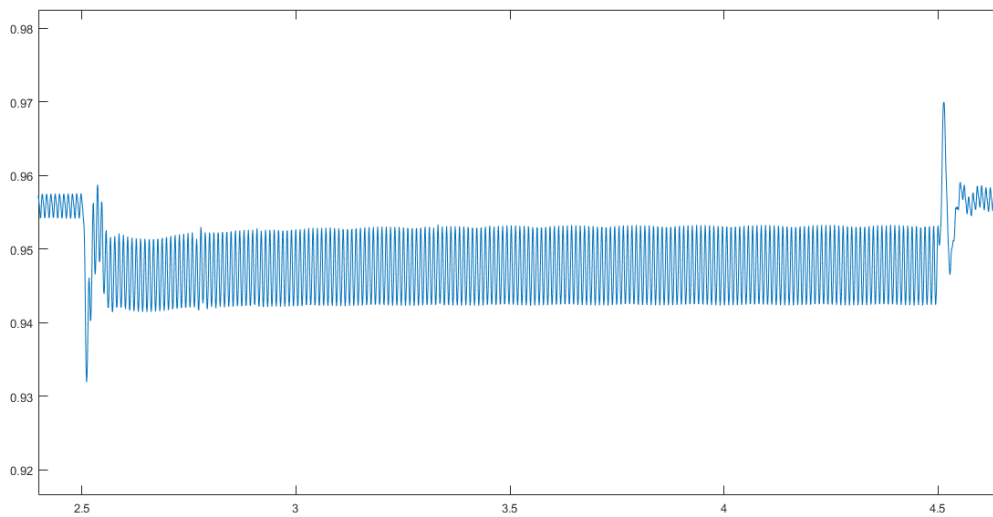
Εικόνα 147: Load Currents (87% Vn, 2sec, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



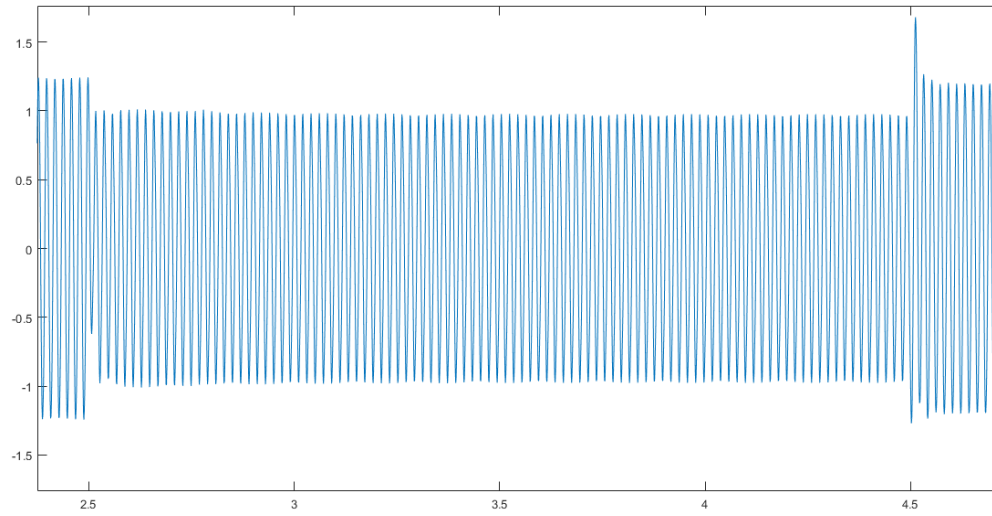
Εικόνα 148: T_e (87% V_n , 2sec, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 149: Rotor Speed (87% V_n , 2sec, Emulator)

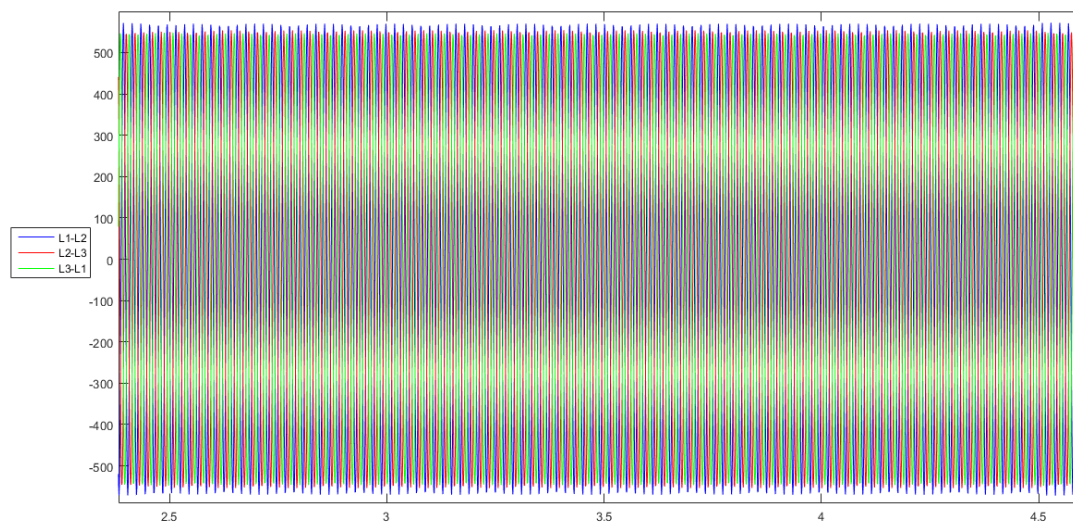
Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 150: I_s (87% V_n , 2sec, Emulator)

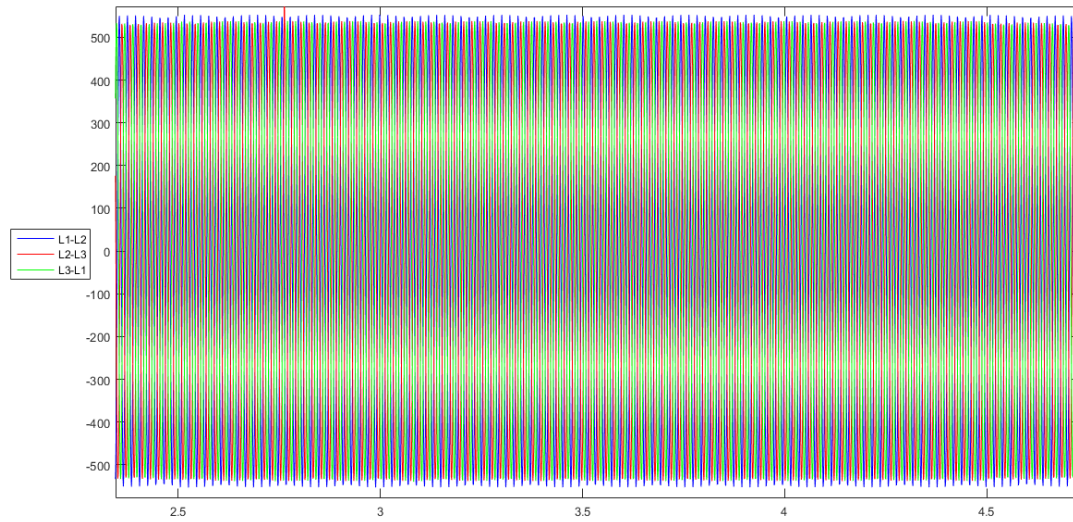
- 106% V_n , 2sec

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



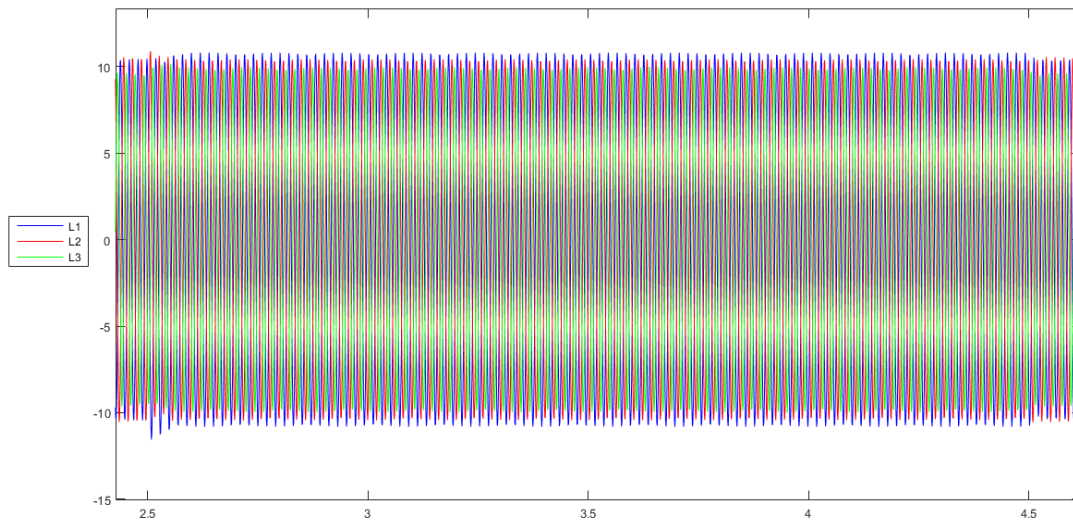
Εικόνα 151: Source Voltages (106% V_n , 2sec, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



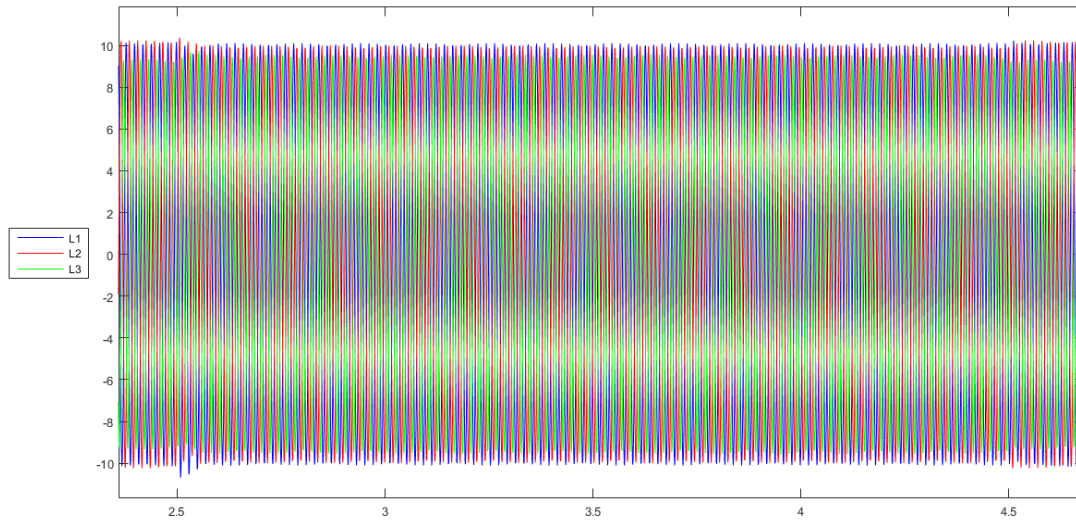
Εικόνα 152: Load Voltages (106% Vn, 2sec, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



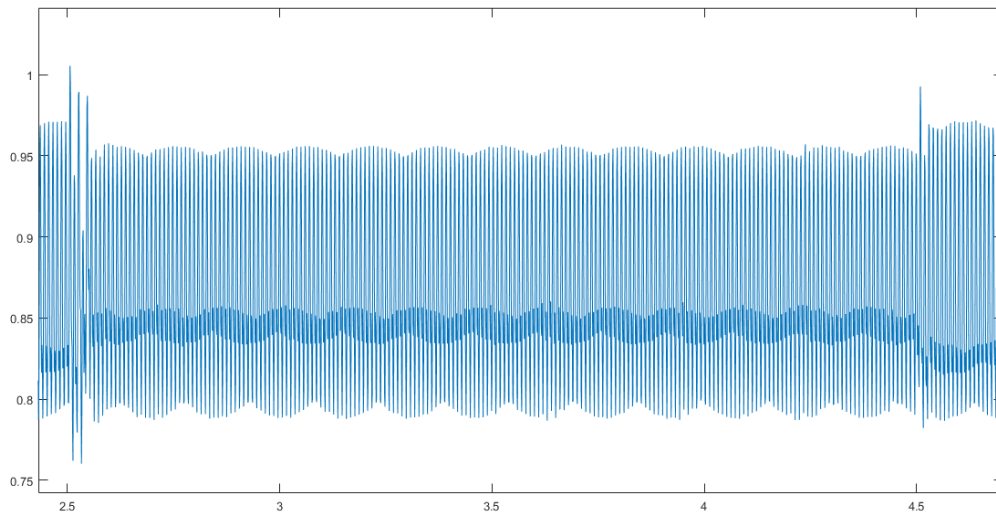
Εικόνα 153: Source Currents (106% Vn, 2sec, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



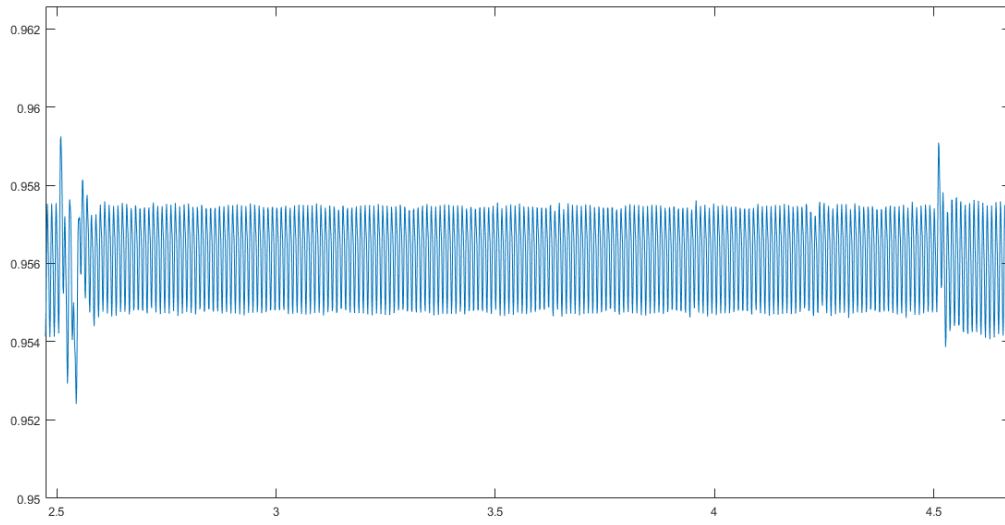
Εικόνα 154: Load Currents (106% V_n , 2sec, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



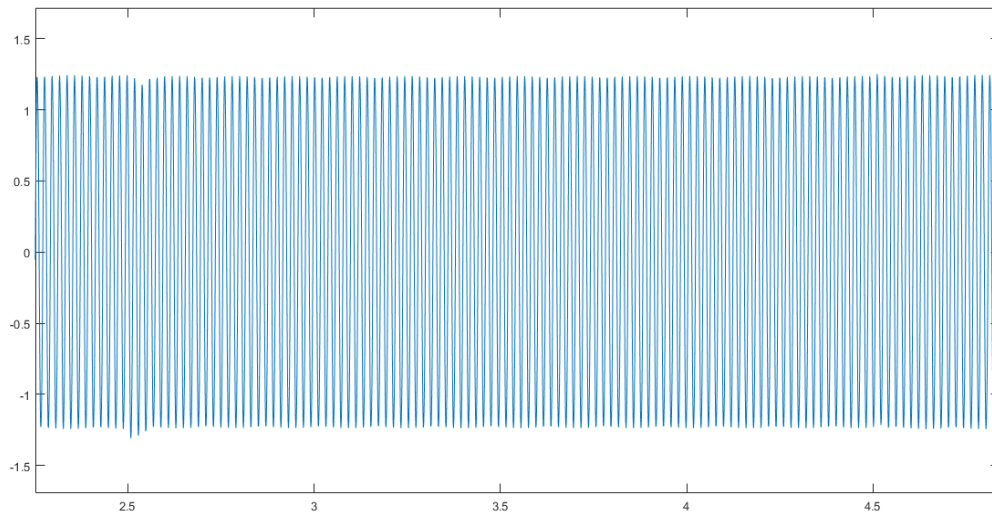
Εικόνα 155: T_e (106% V_n , 2sec, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 156: Rotor Speed (106% V_n , 2sec, Emulator)

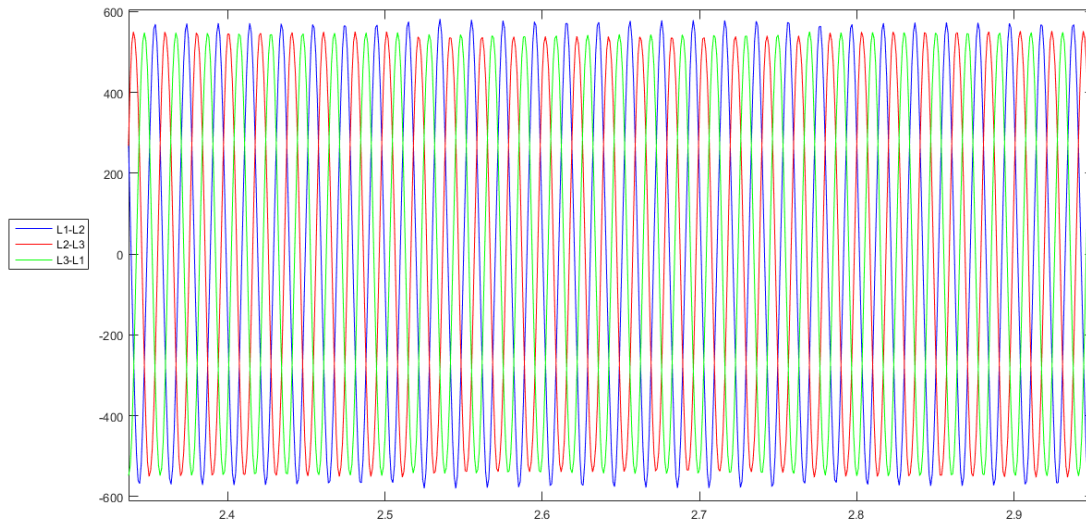
Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 157: Is (106% V_n , 2sec, Emulator)

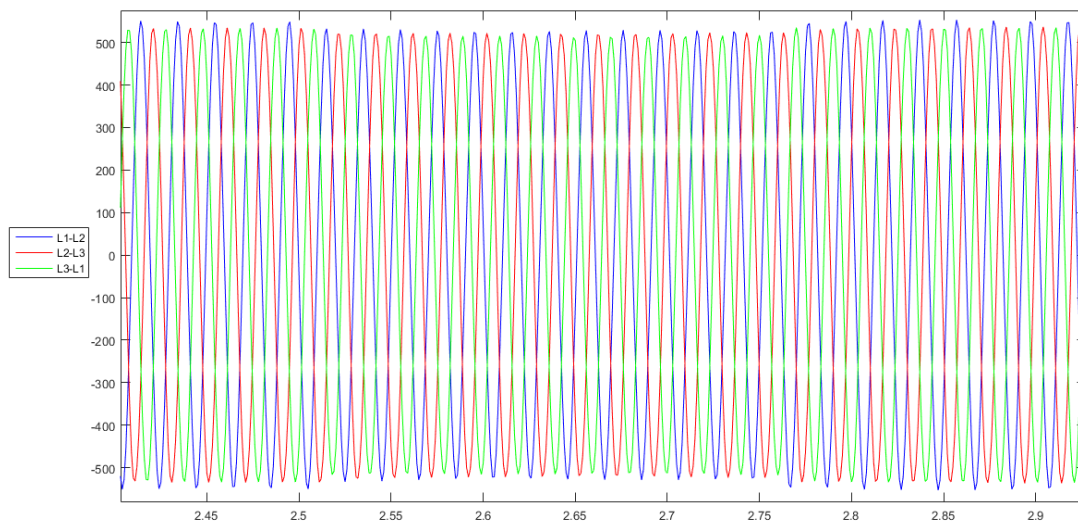
- 115%Vn,13cycles

Πολικές τάσεις στην πλευρά της πηγής



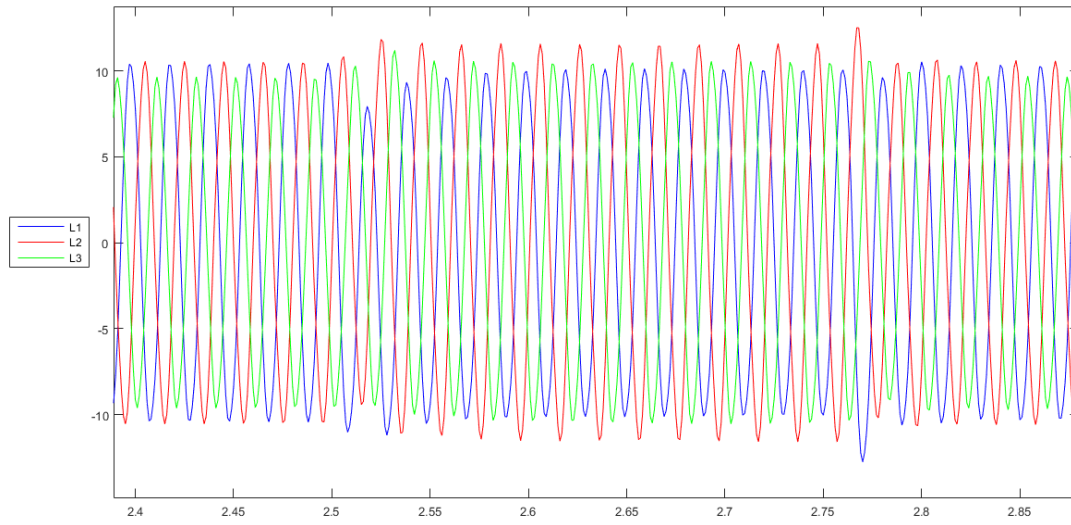
Εικόνα 158: Source Voltages (115% Vn, 13cycles, Emulator)

Πολικές τάσεις στην πλευρά του φορτίου



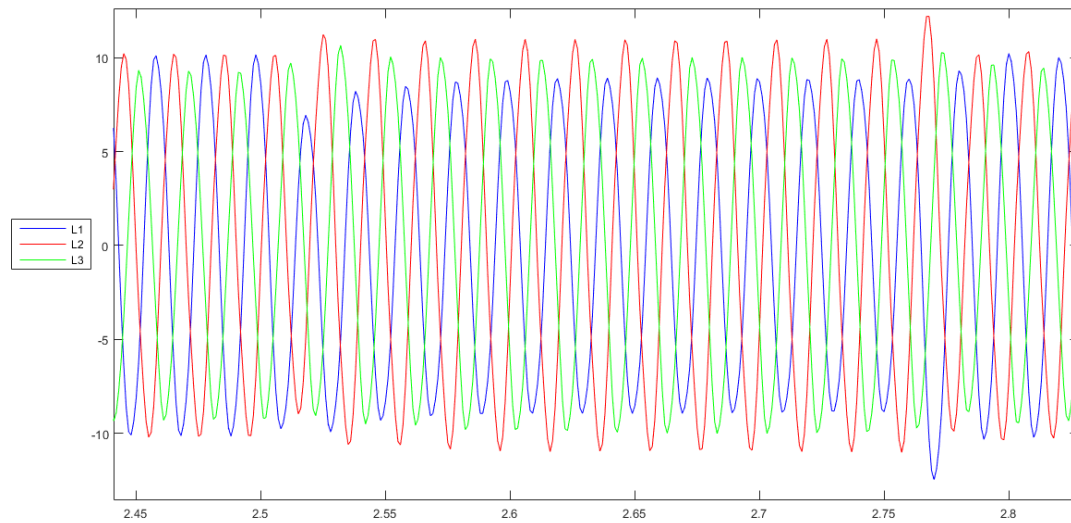
Εικόνα 159: Load Voltages (115% Vn, 13cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά της πηγής



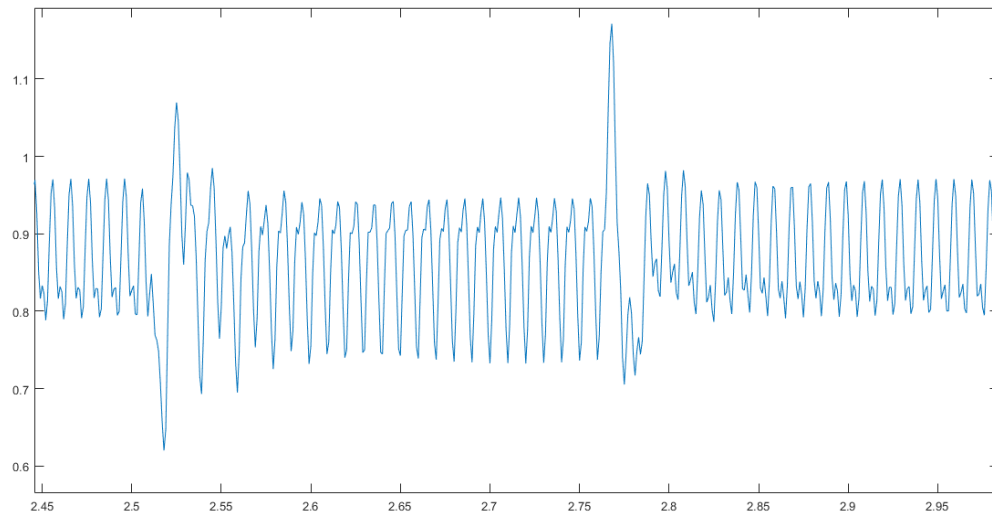
Εικόνα 160: Source Currents (115% V_n , 13cycles, Emulator)

Ρεύματα στην πλευρά του φορτίου



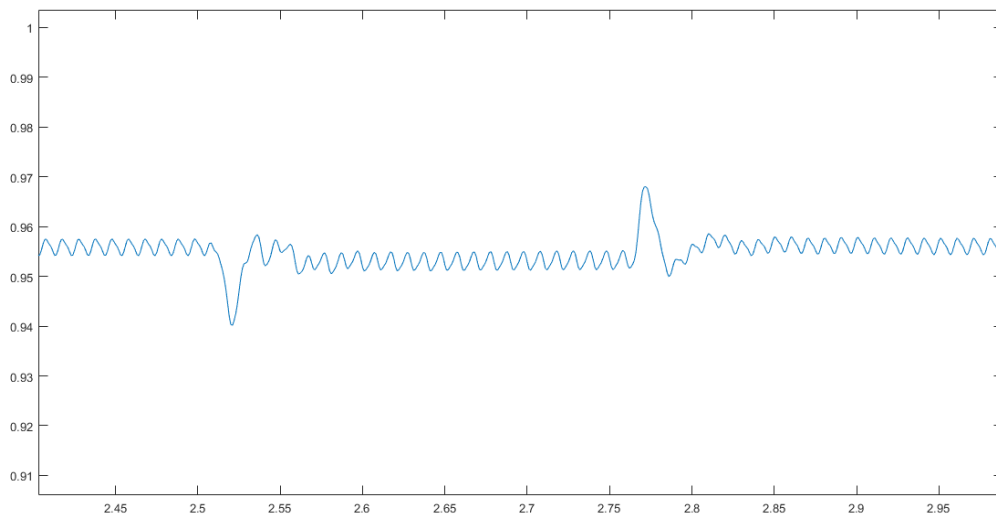
Εικόνα 161: Load Currents (115% V_n , 13cycles, Emulator)

Ηλεκτρομηχανική ροπή κινητήρα



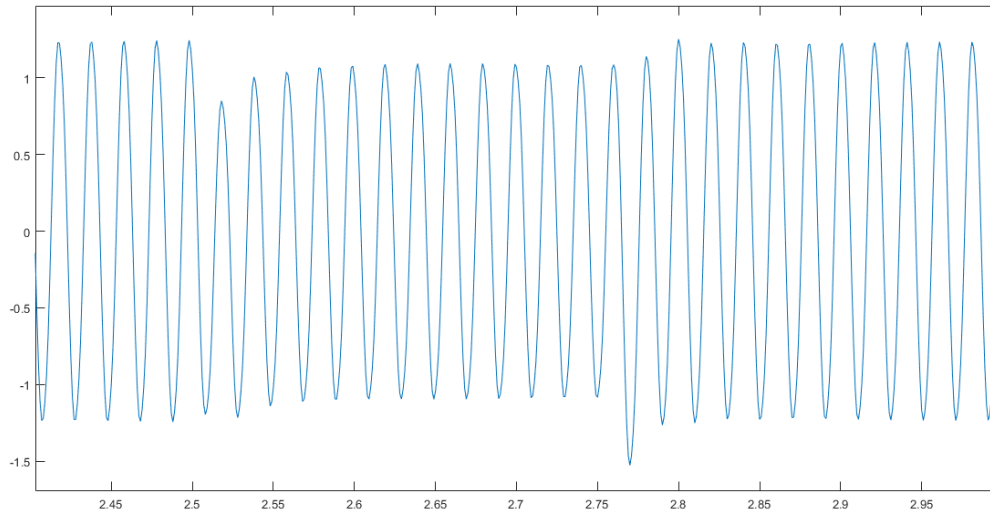
Εικόνα 162: T_e (115% V_n , 13cycles, Emulator)

Γωνιακή ταχύτητα κινητήρα



Εικόνα 163: Rotor Speed (115% V_n , 13cycles, Emulator)

Ρεύμα στάτη κινητήρα



Εικόνα 164: Is (115% Vn, 13cycles, Emulator)

Σχολιασμός προσομοιώσεων

Παρατηρώντας τα γραφικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων, σε συνδυασμό με τις κυματομορφές των πειραματικών μετρήσεων, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το κύκλωμα της Matlab προσεγγίζει την πραγματικότητα σε ικανοποιητικό βαθμό. Πιο συγκεκριμένα

- Όσον αφορά τις συνιστώσες των τάσεων, επαληθεύεται η αλληλουχία των μέτρων τάσεων ομοίως με τα πειραματικά. Για παράδειγμα, στις περιπτώσεις των βυθίσεων, αναλύοντας της πλευρά της πηγής, η συνιστώσα L1-L2 παρουσιάζει ισόποση αύξηση του μεγέθους της ενώ η συνιστώσα L3-L1 μειώνει το πλάτος της σε βαθμό μικρότερο συγκριτικά με την L2-L3. Παρατηρώντας την πλευρά του φορτίου, υπάρχει αντίστοιχη επαλήθευση για το πλάτος κάθε συνιστώσας τάσης. Όλες συμβαδίζουν τις τιμές τους αντίστοιχα με τα πειραματικά, με την L1-L2 να παρουσιάζει την μεγαλύτερη μείωση και την L2-L3 την μικρότερη. Σε κάθε περίπτωση, μετά το πέρας ενός event υπάρχει και ένα αντίστοιχο χρονικό διάστημα επαναφοράς (recovery point) των συνιστωσών τις κανονικές τιμές τους.
- Παρατηρώντας της κυματομορφές ρευμάτων στην πλευρά της πηγής, γίνεται εύκολα αντιληπτό το γεγονός ότι κατά τις βυθίσεις π.χ. το ρεύμα της συνιστώσας L1 μειώνει την τιμή παρουσιάζοντας αρμονική παραμόρφωση καθότι αλλάζει το shape της, ενώ η συνιστώσες των ρευμάτων L2 και L3 αναπτύσσουν ρεύματα διπλάσια της ονομαστικής τους τιμής. Επίσης παρατηρούνται notching που αφορούν της συνιστώσες L1 και L2 είτε στην αρχή είτε στο τέλος ενός event. Τα ρεύματα στην πλευρά του φορτίου παρουσίασαν

παρόμοια συμπεριφορά με εκείνα της πηγής με την μόνη διαφοροποίηση ότι τα μέτρα τους ήταν ελαφρώς μειωμένα, όπως ακριβώς συνέβη και στα πειραματικά.

Όσον αφορά τα εναπομείναντα τρία εξαγωγή δεδομένα της Matlab, τα οποία αφορούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη του motor load (ρεύμα στάτη, ηλεκτρομηχανική ροπή και γωνιακή ταχύτητα), δεν υπάρχει η δυνατότητα επαλήθευσης των χαρακτηριστικών γραφικών λειτουργίας τους καθότι κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων δεν υποβλήθηκαν σε μετρήσεις. Η παρατήρησή τους όμως είναι μια καλή ένδειξη της εύρυθμης "αντίδρασης" του motor load κατά την διάρκεια των events. Πιο συγκεκριμένα, η χαρακτηριστική στροφών του κινητήρα ύστερα από την εκκίνησή της σταθεροποιούσε τις στροφές του κινητήρα λίγο κάτω από τις ονομαστικές στροφές του, ενώ κατά την διάρκεια κάποιου event αυξομείωνε την λειτουργία της στο διάστημα $\pm 5\%$ της ονομαστικής της τιμής παρουσιάζοντας περιστασιακά και μια υποτυπώδη κυμάτωση. Με το πέρας κάποιου event η γραφική επανερχόταν στην κανονική της λειτουργία σε διάστημα msec. Όσον αφορά τις κυματομορφές της ηλεκτρομηχανικής ροπής, οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρήθηκαν στις προσομοιώσεις που αφορούσαν τις βυθίσεις 30% και 40% (κατά μέτρον οι μετρήσεις με την μεγαλύτερη μεταβολή από τις ονομαστικές τιμές) όπου αναπτύχθηκαν ροπές πολλαπλάσιες τρεις με τέσσερις φορές της ονομαστικής ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις παρουσιάστηκαν δύο με τρεις. Τέλος, το ρεύμα στάτη κατά την διάρκεια όλων των events κατέγραψε μείωση των τιμών λειτουργίας του, ενώ με το πέρας ενός event παρουσίαζε spikes τα οποία είχαν μέγεθος δύο με τρεις φορές του ονομαστικού του.

Προεκτάσεις για μελλοντική έρευνα

Σε αυτό το σημείο, θα καταγράψουμε πιθανές προεκτάσεις για μελλοντική έρευνα στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Αρχικά, η ενίσχυση της λίστας των testing points που πραγματοποιήθηκαν με αντίστοιχα προτεινόμενα από διαφορετικά πρότυπα θα οδηγήσει σε λεπτομερέστερη κατανόηση της συμπεριφοράς της εργαστηριακής διάταξης όσον αφορά την ευστάθεια και τα όρια λειτουργίας της. Ένα τέτοιο πρότυπο είναι το SEMI E6 το οποίο είναι συμβατό με την sag generator λαμβάνοντας υπόψη τις προτεινόμενες μετρήσεις του παραπάνω προτύπου που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν σε συνδυασμό με εκείνες των ήδη υπάρχοντων προτύπων (IEC 61000-4-11, SEMI F47).

Ακόμα, θα ήταν ωφέλιμη η κατασκευή ενός DVR (Dynamic Voltage Restorer) με σκοπό την βέλτιστη αντιμετώπιση φαινομένων ποιότητας ισχύος. Ένας DVR επί της ουσίας αποτελεί μια διάταξη αμφιμονοσήμαντου χαρακτήρα, καθότι δεν έχει προκαθορισμένες προδιαγραφές για την δομή και προσαρμόζει την λειτουργία του στις "αδυναμίες" του εκάστοτε κυκλώματος για το οποίο προορίζεται. Κατασκευαστικά αποτελείται από στοιχεία όπως διακόπτες ισχύος, ηλεκτρονικά ισχύος, SSR (solid state relay) , παθητικά στοιχεία και μετασχηματιστές.

Τέλος, οι επιδόσεις του κυκλώματος προσομοίωσης της Matlab είναι ένας κομμάτι το οποίο επιδέχεται βελτίωσης . Αρκετά από τα Block Parameters κάποιων στοιχείων του κυκλώματος δεν έλαβαν την πραγματική τους τιμή, καθότι δεν υπήρχε η δυνατότητα πρόσβασης στα κατασκευαστικά τους δεδομένα .

Βιβλιογραφία

- 1) M. Bollen, Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions (2000). IEEE Press on Power Engineering, pp. 139-251.
- 2) X. Yang, Q. Gui, Y. Tian, and A. Pan (September 2010), ‘‘Research on Calculation Model of Voltage Sags Due to High Voltage and Great Power Motor Starting’’, Electricity Distribution (CICED), pp. 1-9, [International Conference on Electricity Distribution (CICED), China. 2010].
- 3) J. Caicedo, F. Navarro, E. Rivas, and F. Santamaría (November 2011). ‘‘The state of the art and new developments in voltage sag immunity’’. Ingeniería e investigación, vol. 31, pp. 81-87, [SICEL, VI International Symposium on Power Quality 2011, Asunción, Paraguay].
- 4) J. Caicedo, F. Navarro, E. Rivas, and F. Santamaría (May 2012). ‘‘Voltage Sag Characterization with Matlab/Simulink’’, Electromagnetic Compatibility (GCEM), [Electromagnetic Compatibility and Interference Group (GCEM), Colombia, 2012].
- 5) Sybille G., Hoang L.H. (2000) ‘‘Digital Simulation of Power Systems and Power Electronics using the MATLAB/Simulink Power System Blockset’’, IEEE PES Winter Meeting 4: pp. 2973-2981.
- 6) Ntombela M., Kaberere K.K., Folly K.A., Petroianu A.I. (2005) ‘‘An Investigation into the Capabilities of MATLAB Power System Toolbox for Small Signal Stability Analysis in Power Systems’’, IEEE PES Conference and Exposition.
- 7) Sybille G., Brunelle P., Hoang L.H., Dessaint L.A., Al-Haddad K. (2000) ‘‘Theory and Applications of Power System Blockset, A MATLAB/Simulink-Based Simulation Tool for Power Systems’’, IEEE PES Winter Meeting 1: pp. 774-779.
- 8) Bollen M.H.J., Zhang L.D. (2003) ‘‘Different Methods for Classification of Three-Phase Unbalanced Voltage Dips Due to Faults’’. Electric Power Systems Research 66: pp. 59-69.
- 9) Djokic S.Z., Milanovic J.V. (2006) ‘‘Advanced Voltage Sag Characterization’’. Part 1: Phase Shift. IEE Proceeding on Generation Transmission and Distribution 153: pp. 423-430.
- 10) Styvaktakis E., Bollen M.H.J. (2003) ‘‘Signatures of Voltage Dips: Transformer Saturation and Multistage Dips’’. IEEE Transactions on Power Delivery 18: pp. 265-270.

- 11) Gomez J.C., Morcos M.M. (2002) "Flicker Measurement and Light Effect". IEEE Power Engineering Review: pp. 11-15.
- 12) Rodney H.G. Tan and Vigna K. Ramachandaramurthy (October 2015), "A Comprehensive Modeling and Simulation of Power Quality Disturbances Using MATLAB/SIMULINK", INTECH. [Power Quality Issues in Distributed Generation] Chapter 3, pp. 84-105.
- 13) Reaz M.B.I., Choong F., Sulaiman M.S., Mohd-Yasin F., Kamada M. (2007). "Expert system for power quality disturbance classifier". IEEE Trans Power Deliv, (22): pp. 1979–88.
- 14) Shareef H., Mohamed A. (December 2010) "Power quality disturbance detection and visualization utilizing image processing methods". In: Proceeding international Middle East power conference, Cairo, Egypt.
- 15) Gauda M., Salam M.A., Sultam M.R., Chikhani A.Y. (1999) "Power quality detection and classification using wavelet multiresolution signal decomposition". IEEE Trans Power Deliv, (14): pp. 1469–76.
- 16) Monedero I., Leon C., Ropero J., Garcia A., Elena J.M., Montano J.C. (2007) "Classification of electrical disturbances in real time using neural networks". IEEE Trans Power Deliv, (22): pp. 1288–96.
- 17) Dash P.K., Jena R.K., Salama M.M.A. (1999) "Power quality monitoring using an integrated Fourier linear combiner and fuzzy expert system." Electr. Power Syst. Res (21): pp. 497–506.
- 18) A. Thapar, T.K. Saha, Z.Y. Dong, (2004) "Investigation of power quality categorization and simulating its impact on sensitive electronic equipment", Power Eng. Soc. Gen. Meeting 1 pp. 528–533.
- 19) D. Granados-Lieberman, R.J. Romero-Troncoso, R.A. Osornio-Rios, A. GarciaPerez, E. Cabal-Yepez, (2011) "Techniques and methodologies for power quality analysis and disturbances classification in power systems: a review", IET Gener. Transm. Dis. 5 (4) pp. 519–529

- 20) M.R. Alam, K.M. Muttaqi, A. Bouzerdoum, (2015). "A new approach for classification and characterization of voltage dips and swells using 3-D polarization ellipse parameters", IEEE Trans. Power Deliv. 30 (3) pp. 1344–1353.
- 21) D. L. Rosa, J. J. G. Moreno Muñoz, A. Gil de Castro, A. Pallarés, V. Sanchez Castillejo, and J. A., (2010) "A web based distributed measurement system for electrical power quality assessment", Measurement Journal of the International Measurement Confederation, vol. 43, no. 6, pp. 771-780.
- 22) A.G. de Castro, A. Moreno Muñoz, V. Pallarés, D.L. Rosa, and J.J.G. (2009), "Improving Power Quality Immunity in Factory Automation", Power Electronics Technology, vol. 35, no. 5, pp. 28-32.
- 23) A. Moreno Muñoz, D.L. Rosa, and J.J.G. (2008), "Voltage sag in highly automated factories", IEEE Industry Application Society Annual Meeting, art. No. 4659120.
- 24) J. Kyei, R. Ayyanar, G. Heydt, R. Thallam, and J. Blevins (2002), "The design of power acceptability curves", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 7, no. 3, pp. 828–833, July.
- 25) Information Technology Industry Council (ITI), ITI (CBEMA) curve application note, October 2000.
- 26) A.K. Keus, J.M. Van Coller, and R.G. Koch, (May 1999) "A test facility for determining the response of industrial equipment to voltage dips (sags)", Electric Machines and Drives, 1999. International Conference IEMD, pp. 210.
- 27) IEEE, Power Quality Data of the IEEE P1159.3 Task Force, <http://grouper.ieee.org/groups/1159/3/docs.html> (accessed 10.02.14).
- 28) Byung-Kwan K., et al. (2012) "A study on optimal sizing of superconducting magnetic energy storage in distribution power system", IEEE Transactions on Applied Superconductivity.
- 29) Samineni S. (2003) "Modeling and analysis of a flywheel energy storage system for voltage sag correction".
- 30) B.H. Kenny, R. Jansen, P. Kascak, T. Dever, W. Santiago (2005), "Integrated power and attitude control with two flywheels", IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. 41, pp. 1431-1449.

- 31) S.D. Breucker, E. Peeters, J. Driesen, in: IEEE Electric Ship Technologies Symposium, (2009), pp. 310-317.
- 32) Dragicevic, Tomislav, Quintero, Juan Carlos Vasquez, Guerrero, Josep M. , Skrlec, Davor (2014), `` Advanced LVDC Electrical Power Architectures and Microgrids`` , Aalborg Universitet, E E E Electrification Magazine, 2(1), pp. 54-65.
- 33) . A. Sannino, G. Postiglione, M. Bollen (September/October 2003), ``Feasibility of a DC network for commercial facilities`` , IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 39, no. 5, pp. 1499-1507.
- 34) I. M. Προυσαλίδης, I. K. Χατζηλάου, Γ. Αντωνόπουλος, I. K. Γύπαρης, Π. Βαλλιανάτος (12-13 Ιαν., 2006), ``Εξελίξεις Στην Ηλεκτροπρόωση Πλοίων Και Ανασκόπηση Ζητημάτων Σχεδιασμού Στο Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο, Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα – Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές`` , TEE, Αθήνα, σ. 1-19.
- 35) D.P. Manjure and E.B. Makram (6-9 Oct. 2002), ``Impact of unbalance on power system harmonics`` , 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power, IEEE Conf. , Vol. 1, pp. 328 – 333.
- 36) Lisa M. Anderson, Kenneth B. Bowes, Northeast Utilities (April 1990), ``The Effect of Power-Line Disturbances on Consumer Electronic Equipment`` , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.5, No. 2.

