



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Παραδοτέο Π2.2

Μοντέλο πλήρους κλίμακας ηλεκτρικού συστήματος πλοίου με όλα τα απαραίτητα επιμέρους μέρη

« Πρωτοβουλία Εφαρμογής Συνεχούς Ρεύματος στα Πλοία
(Direct Current in Ship Initiative - DC-Ship)»

(πράξη ΑΡΙΣΤΕΙΑ - Ι, Κωδ. Έργου ΓΓΕΤ: 987, Κωδ. Έργου ΕΔΕΙΑ/ΕΜΠ: 68/1151)

Υπεύθυνος Σύνταξης: Ι. Προυσαλίδης, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2013





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

1. Γενικά

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΠΡΑΞΗΣ

Το συγκεκριμένο έργο στοχεύει στη διεξαγωγή έρευνας για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών και την ανάπτυξη αντίστοιχων μεθόδων αντιμετώπισης. Τα συστήματα ΣΡ εξαλείφουν την κυκλοφορία αέργου ισχύος και τις σχετικές απώλειες κι έτσι η εφαρμογή τους μπορεί να βελτιώσει τους δείκτες απόδοσης του πλοίου EEDI και EEOI. Ωστόσο, θα πρέπει πρώτα να διερευνηθεί μια σειρά θεμάτων, τα οποία σχετίζονται κυρίως με τη λειτουργία του συστήματος κατά τη μόνιμη και μεταβατική κατάσταση, όπως η ευστάθεια τάσης, η ποιότητα ισχύος και τα σφάλματα. Κύριο στοιχείο καινοτομίας του συγκεκριμένου έργου αποτελεί η ενδεδειγμένη διερεύνηση των θεμάτων τα οποία σχετίζονται με την εφαρμογή συστημάτων διανομής ΣΡ σε εμπορικά πλοία και η ανάπτυξη λύσεων στοχευμένων στην εξοικονόμηση ενέργειας. Για το σκοπό αυτό προτείνεται ένα ερευνητικό σχέδιο το οποίο συνδυάζει μια πληθώρα επιστημονικών πεδίων του ηλεκτρολόγου και του ναυπηγού μηχανικού. Κατά τη διάρκεια της ερευνητικής δράσης τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων οι οποίες θα πραγματοποιηθούν, θα ενισχυθούν από αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα σε δύο πρότυπες διατάξεις. Μία για την εξομοίωση του δικτύου ΕΡ του πλοίου και μία για το αντίστοιχο δίκτυο ΣΡ. Οι επιδόσεις τους κατά τη λειτουργία θα καταγραφούν και θα συγκριθούν σε ό, τι αφορά την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας. Οι μελέτες αυτές θα συμπληρωθούν από αναλύσεις Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost, LCC) του πλοίου όταν αυτό χρησιμοποιεί δίκτυο ΣΡ, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κτήσης, λειτουργίας και συντήρησης. Το έργο υποδιαιρείται σε επτά (7) ενότητες έρευνας.

Η πρώτη ενότητα εργασίας Ε.Ε. 1 αναφέρεται στην εκκίνηση του ερευνητικού έργου ενώ το παρόν παραδοτέο Π1.1 αποτελεί την αντίστοιχη έκθεση πεπραγμένων κατά την προετοιμασία εκκίνησης του έργου. Επιπλέον, η Ε.Ε.1 περιελάμβανε και τη συλλογή δεδομένων τα οποία είναι ουσιώδη για τη μελέτη των προσομοιώσεων, π.χ. η ζήτηση ενέργειας σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας, η ηλεκτρική ευστάθεια, η ανάλυση βραχυκυκλωμάτων και οι διαμορφώσεις των περισσότερων εμπορικών τύπων πλοίων όπου η εξοικονόμηση της ενέργειας έχει νόημα. Τα αποτελέσματα αυτής της συλλογής δεδομένων καταγράφονται συνοπτικά στο παραδοτέο Π1.2.

1. Περιγραφή του μοντέλου ενός DC δικτύου μέσης τάσης για ένα ολοκληρωμένο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοία

Εισαγωγή



Παραδοτέο Π1.2: Μοντέλο πλήρους κλίμακας ηλεκτρικού συστήματος πλοίου με όλα τα απαραίτητα επιμέρους μέρη



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Στο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο (All Electric Ship, AES), η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυξημένη σε σχέση με ένα συμβατικό εξαιτίας της παρουσίας ηλεκτρικής πρόωσης με περίπου το 70% με 90% της ισχύος που παράγεται από τις γεννήτριες να καταναλώνεται σε αυτό. Σ' ένα τέτοιο σύστημα η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να γίνεται με όσο το δυνατό πιο αποδοτικό τρόπο ενώ η τροφοδοσία των ηλεκτρικών φορτίων του πλοίου, συμπεριλαμβανομένης της πρόωσης, πρέπει να είναι αδιάλειπτη ακόμη και σε περιπτώσεις όπως αιχμές στη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας ή σε μειώσεις της παραγόμενης ισχύος που οφείλονται σε μερικά σφάλματα. Γι' αυτό το λόγο είναι σημαντικό να μελετηθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διατάξεων παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και των διαφόρων διατάξεων οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή και μεταφορά αυτής όπως ηλεκτρονικά ισχύος και ηλεκτρικά δίκτυα.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι διάφορες συνιστώσες ενός ολοκληρωμένου DC δικτύου πλοίου καθώς και η μοντελοποίηση αυτών.

1.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι γεννήτριες ντήζελ αποτελούν αξιόπιστη πηγή ισχύος γι' αυτό και επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Σημαντικό είναι ότι το αρχικό κόστος ενός συνολικού συστήματος γεννητριών ντήζελ είναι επίσης σχετικά χαμηλό. Οι γεννήτριες ντήζελ είναι σχεδόν αποκλειστικά σύγχρονες γεννήτριες και λειτουργούν ελεγχόμενα σε σταθερή ταχύτητα ώστε να εξασφαλίζουν σταθερή ηλεκτρική συχνότητα. Εξαιτίας της μειωμένης απόδοσης σε χαμηλό φορτίο, οι περισσότεροι κατασκευαστές προτείνουν οι γεννήτριες να μην λειτουργούν σε κατάσταση φόρτισης χαμηλότερη από 40%, ώστε να επεκταθεί η διάρκεια ζωής τους. Ο ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου ανά μονάδα ισχύος αυξάνεται για χαμηλότερα φορτία ενώ η κατανάλωση καυσίμου σε κενό φορτίο παραμένει στη τιμή 15-30% του πλήρους φορτίου. Σε χαμηλά φορτία η ταχύτητα της γεννήτριας μειώνεται εξασφαλίζοντας πως η μηχανή θα λειτουργεί αποδοτικά όσον αφορά την οικονομία καυσίμου.

Πέραν των συμβατικών γεννητριών σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και γεννήτριες άξονα. Αξονική γεννήτρια (shaft generator) ονομάζεται κάθε γεννήτρια η οποία λαμβάνει μηχανική ισχύ από το αξονικό σύστημα του σκάφους. Η χρήση αξονικών γεννητριών σε συνδυασμό με δίχρονες κύριες μηχανές ντήζελ κατά τη δεκαετία 1980, αποτέλεσε την πιο συνηθισμένη πρακτική για την παραγωγή ενέργειας στα πλοία καθώς την περίοδο εκείνη οι περισσότερες γεννήτριες ντήζελ ήταν αδύνατο να λειτουργήσουν με βαρύ πετρέλαιο ενώ ακόμα και εκείνες που έκαιγαν βαρύ πετρέλαιο ήταν οικονομικά ασύμφωρες. Επομένως, η χρήση των αξονικών γεννητριών αποτέλεσε και συνεχίζει να αποτελεί μια οικονομική λύση για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τις μηχανές που χρησιμοποιούνται ως αξονικές γεννήτριες διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- Σύγχρονες γεννήτριες οι οποίες οδηγούνται από ένα μηχανικό, υδραυλικό ή ηλεκτρικό σύστημα κίνησης και είναι διατεταγμένες έτσι ώστε να λειτουργούν με μια σταθερή συχνότητα.
- Ασύγχρονες γεννήτριες οι οποίες λειτουργούν με μεταβλητή συχνότητα διέγερσης στο κύκλωμα του δρομέα. Οι διαμορφώσεις με τις γεννήτριες αυτού του τύπου βρίσκονται προς το παρόν σε πειραματικό στάδιο.
- Γεννήτριες συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος οι οποίες χρησιμοποιούν μετατροπείς για να συνδεθούν με το σύστημα ισχύος.

1.1.1 Μοντελοποίηση Γεννητριών Ντήζελ





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Οι σύγχρονες γεννήτριες μοντελοποιήθηκαν βάσει των εξισώσεων (1) - (17).

Εξισώσεις τάσεων στάτη σε Dq πλαίσιο αναφοράς

$$u_q = r_s i_q + \frac{d\lambda_q}{dt} + \omega_r \lambda_d \quad (1)$$

$$u_d = r_s i_d + \frac{d\lambda_d}{dt} - \omega_r \lambda_q \quad (2)$$

$$u_o = r_s i_o + \frac{d\lambda_o}{dt} \quad (3)$$

Εξίσωση τάσης τλίγματος διέγερσης

$$u'_f = r'_f i'_f + \frac{d\lambda'_f}{dt} \quad (4)$$

Εξισώσεις τάσεων τυλιγμάτων απόσβεσης

$$u'_{kd} = r'_{kd} i'_{kd} + \frac{d\lambda'_{kd}}{dt} \quad (5)$$

$$u'_{kq} = r'_{kq} i'_{kq} + \frac{d\lambda'_{kq}}{dt} \quad (6)$$

$$u'_g = r'_g i'_g + \frac{d\lambda'_g}{dt} \quad (7)$$

Εξισώσεις μαγνητικών ροών

$$\lambda_q = L_q i_q + L_{mq} i'_g + L_{mq} i'_{kq} \quad (8)$$

$$\lambda_d = L_d i_d + L_{md} i'_f + L_{md} i'_{kd} \quad (9)$$

$$\lambda_o = L_s i_o \quad (10)$$

$$\lambda'_f = L_{md} i_d + L_{md} i'_{kd} + L'_{ff} i'_f \quad (12)$$

$$\lambda'_{kd} = L_{md} i_d + L_{md} i'_f + L'_{kdkd} i'_{kd} \quad (13)$$

$$\lambda'_g = L_{mq} i_q + L'_{gg} i'_g + L_{mq} i'_{kq} \quad (14)$$

$$\lambda'_{kq} = L_{mq} i_d + L_{mq} i'_g + L'_{kqkq} i'_{kq} \quad (15)$$





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

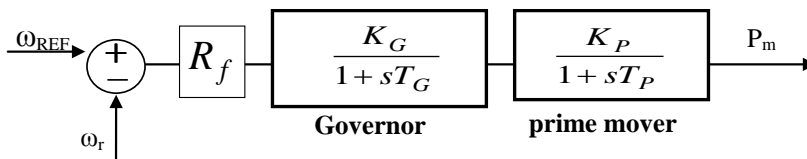
Η αναπτυσσόμενη από τη γεννήτρια ηλεκτρομαγνητική ροπή και ενεργός ισχύς δίνονται από τους τύπους:

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_d i_q - \lambda_q i_d) \quad (16)$$

$$P_e = \omega_r T_{em} \quad (17)$$

Συνοψίζοντας είσοδοι του μοντέλου αποτελούν τα μεγέθη: $i_q, i_d, i_o, i_f, \omega_r$ και έξοδοι του μοντέλου τα μεγέθη: u_q, u_d, T_{em}, P_e

Για τον έλεγχο των στροφών χρησιμοποιήθηκε ειδικός ελεγκτής το δομικό διάγραμμα του οποίου φαίνεται στο Σχ. 1 ενώ για τον έλεγχο της τάσης εξόδου των γεννητριών αντίστοιχος ελεγκτής το δομικό διάγραμμα του οποίου φαίνεται στο Σχ. 2.

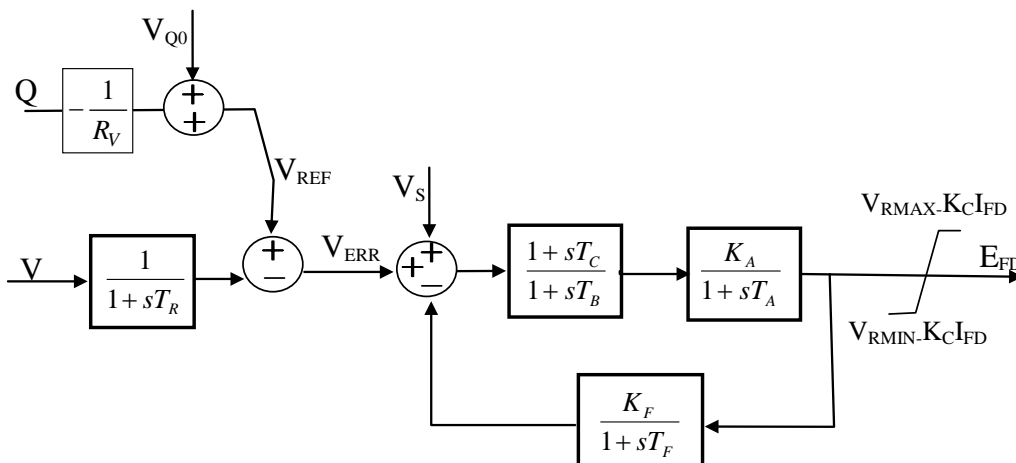


Σχ.1 Δομικό διάγραμμα ελεγκτή στροφών.

Όπου:

ω_{ref}, ω_m : Ταχύτητα αναφοράς και μετρούμενη ταχύτητα αντίστοιχα.

P_m : Μηχανική ισχύς.



Σχ.2 Δομικό διάγραμμα ρυθμιστή τάσης.





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Όπου:

E_{FD} : Τελική αναφορά τάσης διέγερσης,

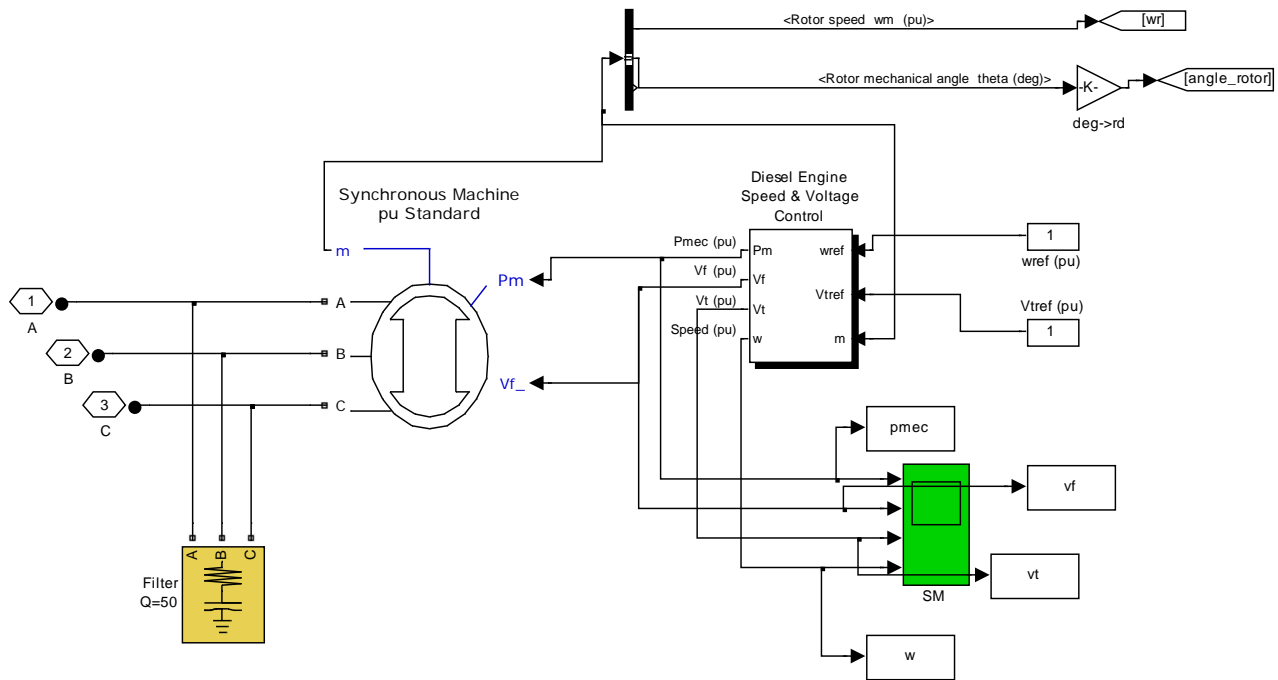
V_{ref} : Εντολή τάσης εξόδου

Q : Μετρούμενη άεργος ισχύς

V_s : Σήμα σταθεροποίησης τάσης

V : Μετρούμενη τάση εξόδου

Το μοντέλο του ζεύγους ντιζελοκινητήρα – σύγχρονης γεννήτριας υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab/Simulink[®] και φαίνεται στο Σχ. 3.



Σχ.3 Μοντέλο ζεύγους ντιζελοκινητήρα – σύγχρονης γεννήτριας σε περιβάλλον Matlab/Simulink[®]

Οι παράμετροι της σύγχρονης γεννήτριας οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση φαίνονται στον Πίνακα 1

Πίνακας 1
Παράμετροι Σύγχρονης Γεννήτριας

ΟΝΟΜΑ	
-------	--





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

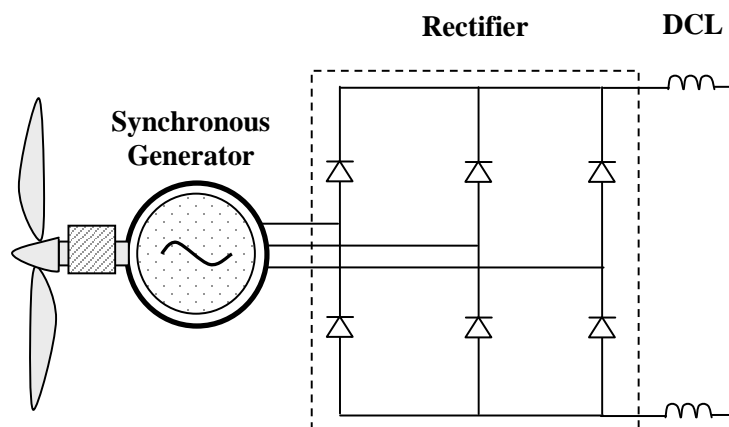


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ Υ	ΤΙΜΗ
Pnom	2.1MVA
Vnom (Line- Line)	450V
Xd	1.227 pu
Xd'	0.157 pu
Xd''	0.135pu
Xq	0.443 pu
Xq''	0.213 pu
Td0	0.407 sec
Td0'	0.036 sec
Tq''	0.0213 sec
Rs	0.102 pu

1.1.2 Μοντελοποίηση Αξονικών Γεννητριών

Το διάγραμμα του συστήματος αξονικών γεννητριών φαίνεται στο Σχ. 4.



Σχ. 4 Διάγραμμα συστήματος αξονικής γεννήτριας

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση του συστήματος γεννητριών είναι οι (1) - (17).

Η παραγόμενη ισχύς από τις αξονικές γεννήτριες ελέγχεται μέσω του ρεύματος διέγερσης αφού η τάση εξόδου της γεννήτριας ανορθώνεται μέσω γέφυρας διόδων. Ο ελεγκτής ισχύος είναι συνεπώς ένας απλός PI ελεγκτής ο οποίος δίνεται από τους τύπους:





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

$$i'_f = K_p P_{error} + K_i \int_0^t P_{error} d\tau \quad (18)$$

όπου:

$$P_{error} = P_{ref} - P_e \quad (19)$$

P_{ref} είναι η αναφορά ενεργού ισχύος και

$$P_{ref} = (f_0 - f) \cdot R_{f,sh} \quad (20)$$

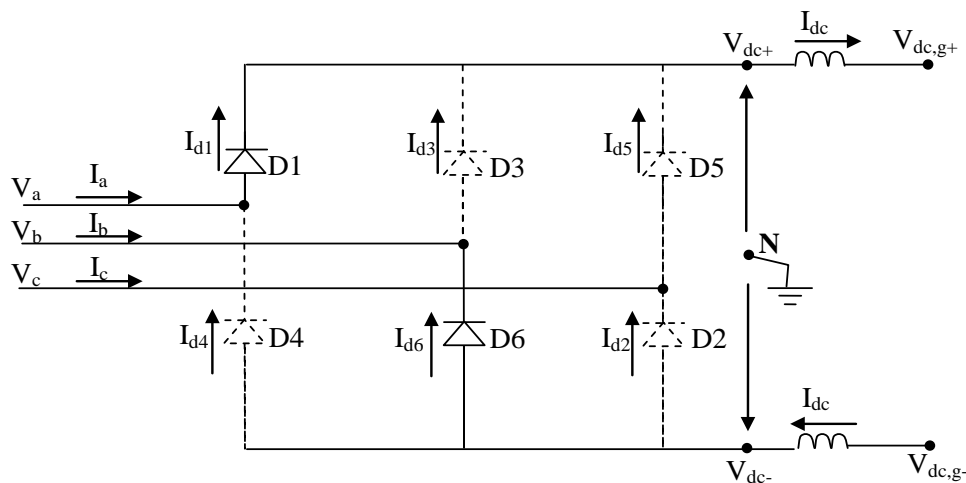
όπου:

f_0 η συχνότητα η οποία αντιστοιχεί σε μηδενική παραγωγή ενεργού ισχύος από την αξονική γεννήτρια

f η μετρούμενη συχνότητα

$R_{f,sh}$ σταθερά

Για την ανόρθωση της τάσης της αξονικής γεννήτριας χρησιμοποιείται ανορθωτική γέφυρα διόδων η οποία φαίνεται στο Σχ. 5.



Σχ.5 Ανορθωτική γέφυρα διόδων για την ανόρθωση της τάσης των αξονικών γεννητριών (Στιγμιότυπο κατάστασης αγωγής 1)

Οι διάφορες λειτουργικές καταστάσεις της γέφυρας συνοψίζονται στον Πίνακα 2

Πίνακας 2
Λειτουργικές καταστάσεις γέφυρας διόδων





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Δίοδος \ Κατάσταση αγωγής	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
2	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
3	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
4	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF
5	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF
6	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON

Κατάσταση αγωγής

Εξισώσεις

- $I_a = I_{dc}, I_b = -I_{dc}, I_c = 0, V_{dc+} = V_a, V_{dc-} = V_b$
- $I_a = I_{dc}, I_b = 0, I_c = -I_{dc}, V_{dc+} = V_a, V_{dc-} = V_c$
- $I_a = 0, I_b = I_{dc}, I_c = -I_{dc}, V_{dc+} = V_b, V_{dc-} = V_c$
- $I_a = -I_{dc}, I_b = I_{dc}, I_c = 0, V_{dc-} = V_a, V_{dc+} = V_b$
- $I_a = -I_{dc}, I_b = 0, I_c = I_{dc}, V_{dc-} = V_a, V_{dc+} = V_c$
- $I_a = I_{dc}, I_b = -I_{dc}, I_c = I_{dc}, V_{dc-} = V_b, V_{dc+} = V_c$

Είσοδοι μοντέλου:

V_a, V_b, V_c, I_{dc}

Έξοδοι μοντέλου:

$V_{dc+}, V_{dc-}, I_a, I_b, I_c$

Για τη διασύνδεση του συστήματος αξονικών γεννητριών με το υπόλοιπο δίκτυο του πλοίου χρησιμοποιείται μια αυτεπαγωγή για την εξομάλυνση του συνεχούς ρεύματος όπως φαίνεται στο Σχ. 6.





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

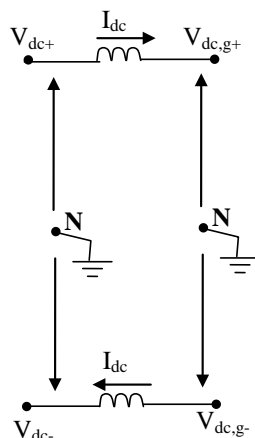


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχ. 6 Ζεύξη ανορθωμένης τάσης αξονικών γεννητριών με δίκτυο ΣΡ πλοίου

Η ζεύξη μοντελοποιείται μέσω της εξίσωσης (21).

$$I_{dc} = I_{dc,0} + \frac{1}{2L} \int_0^t (V_{dc+} - V_{dc,g+} + V_{dc,g-} - V_{dc-}) d\tau \quad (21)$$

όπου, V_{dc+} , $V_{dc,g+}$, V_{dc-} , $V_{dc,g-}$ οι τάσεις στα αντίστοιχα σημεία του κυκλώματος τα οποία φαίνονται στο Σχ. 6.

Είσοδοι μοντέλου:

V_{dc+} , V_{dc-} , $V_{dc,g+}$, $V_{dc,g-}$

Έξοδοι μοντέλου:

I_{dc}

1.2 Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

1.2.1 12παλμική ελεγχόμενη ανόρθωση

Η τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε για να επιτύχουμε τη 12παλμική ανόρθωση είναι, η χρήση 2 6παλμικών γεφυρών με thyristor συνδεδεμένες σε σειρά. Η τροφοδότηση της κάθε μιας γίνεται από το δευτερεύον ενός μετασχηματιστή 3 τυλιγμάτων με συνδεσμολογία Y στο πρωτεύον και Y, Δ στα 2 δευτερεύοντα. Έτσι η γωνία της τάσης για κάθε ομάδα των έξι thyristor έχουν μια διαφορά φάσης 30 μοιρών, που χρησιμοποιείται για να ακυρώσει 5^η και 7^η αρμονική ρεύματος στην AC πλευρά και την 6^η αρμονική τάσης στην πλευρά συνεχούς ρεύματος, με συνέπεια μια σημαντική μείωση των απαιτούμενων φίλτρων. Η διάταξη η οποία μοντελοποιήθηκε φαίνεται στο Σχ. 7.





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

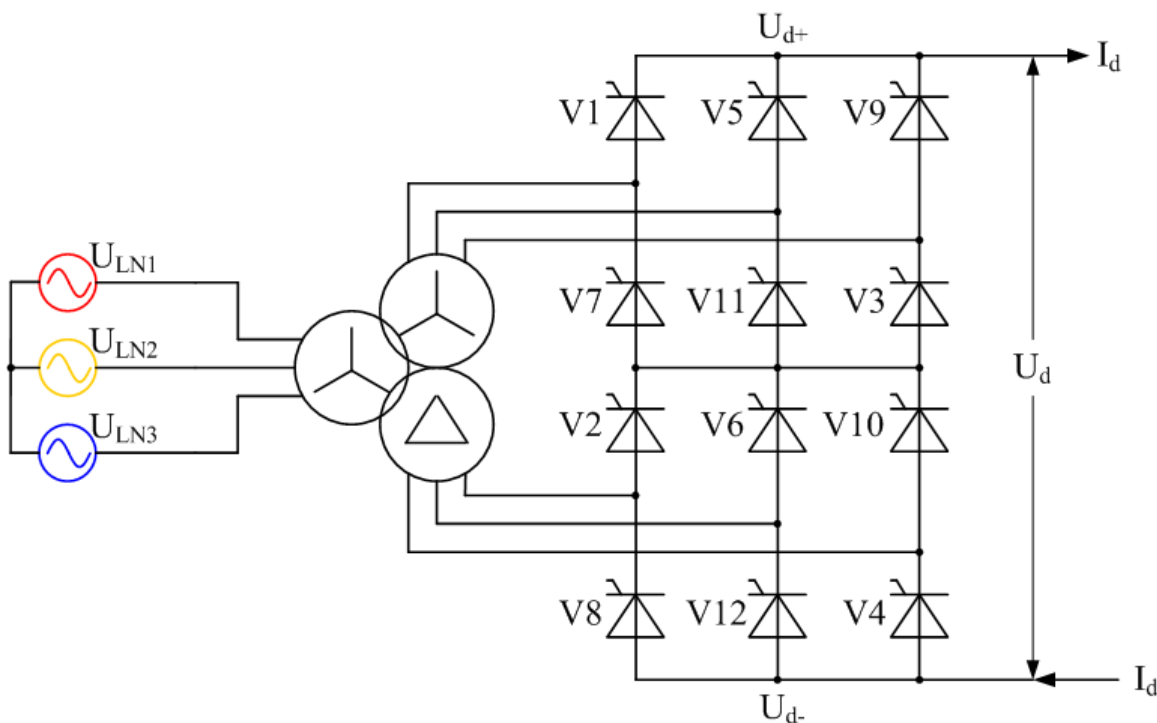


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχ. 7 12παλμική ελεγχόμενη ανόρθωση

Η μέση τιμή της τάσης εξόδου του 12 παλμικού ανορθωτή δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{V}_0 = \bar{V}_{0\gamma} + \bar{V}_{0\Delta} = \frac{3}{\pi} \int_{a-\frac{\pi}{6}}^{a+\frac{\pi}{6}} \sqrt{6}\tilde{V}_i \cos(\omega t) d(\omega t) + \frac{3}{\pi} \int_{a-\frac{\pi}{6}}^{a+\frac{\pi}{6}} \sqrt{6}\tilde{V}_i \cos(\omega t) d(\omega t) = \frac{6\sqrt{6}\tilde{V}}{\pi} \cos a \quad (22)$$

Όπου V_i είναι η ενεργός τιμή της φασικής τάσης τροφοδοσίας.

Λαμβάνοντας υπόψη τη γωνία καθυστέρησης α που υπάρχει μεταξύ της φασικής τάσης εισόδου και της θεμελιώδους συνιστώσας του ρεύματος εισόδου της 6παλμικής ανόρθωσης το ρεύμα εισόδου δίνεται από τη σχέση:

$$i_a = \frac{4\sqrt{3}}{\left(\frac{N_1}{N_2}\right)\pi} \bar{I}_0 \left(\sin(\omega t - a) + \frac{1}{11} \sin 11(\omega t - a) + \frac{1}{11} \sin 11(\omega t - a) + \frac{1}{13} \sin 13(\omega t - a) + \frac{1}{23} \sin 23(\omega t - a) + \dots \right) \quad (23)$$

Όπου $N1/N2=N1/N3$ ο λόγος μετασχηματισμού του μετασχηματιστή 3 τυλιγμάτων





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Επίσης αν θεωρηθεί ότι η ανόρθωση είναι ιδανική τότε η ενεργός ισχύς η άεργος ισχύς, η φαινομένη ισχύς και ο συντελεστής ισχύος της ανόρθωσης δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$P_i = P_0 = \frac{1}{T} \int_0^T v_0 i_0 dt = \bar{I}_0 \bar{V}_0 = \bar{I}_0 \frac{6\sqrt{6}\tilde{V}}{\pi} \cos a = \bar{I}_0 \frac{6\sqrt{6}\tilde{V}}{\pi} \cos \varphi_1 \quad (24)$$

Αφού μπορεί να αποδειχθεί ότι η γωνία έναυσης a είναι και η διαφορά φάσης της τάσης εισόδου από τη θεμελιώδη συνιστώσα του ρεύματος εισόδου.

Όμοια φαίνεται ότι

$$Q_i = \bar{I}_0 \frac{6\sqrt{6}\tilde{V}}{\pi} \sin \varphi_1 \quad (25)$$

και

$$S_i = 3 \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \tilde{V}_i \tilde{I}_a = 3 \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \tilde{V}_i \cdot 1.577 \frac{\bar{I}_0}{\left(\frac{N_1}{N_2} \right)} = 4.731 \tilde{V}_i \bar{I}_0 \quad (26)$$

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{\bar{I}_0 \frac{6\sqrt{6}\tilde{V}}{\pi} \cos \varphi_1}{4.731 \tilde{V}_i \bar{I}_0} = 0.99 \cos \varphi_1 \quad (27)$$

Τέλος ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος εισόδου είναι:

$$THD\%_{ia} = \frac{\sqrt{\tilde{I}_a^2 - \tilde{I}_{a,1}^2}}{\tilde{I}_{a,1}} = \frac{\sqrt{\left(1.577 \frac{\bar{I}_0}{\left(\frac{N_1}{N_2} \right)} \right)^2 - \left(\frac{2\sqrt{6}}{\left(\frac{N_1}{N_2} \right) \pi} \bar{I}_0 \right)^2}}{\frac{2\sqrt{6}}{\left(\frac{N_1}{N_2} \right) \pi} \bar{I}_0} = 15.7\% \quad (28)$$

Τα όρια των κανονισμών της IEEΕ και IEC για το THD του ρεύματος εισόδου για διατάξεις μεγάλης ισχύος είναι 5% συνεπώς το 15.7% δεν είναι αποδεκτό. Στη διάταξη προσομοίωσης, χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα τόσο στην είσοδο της





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



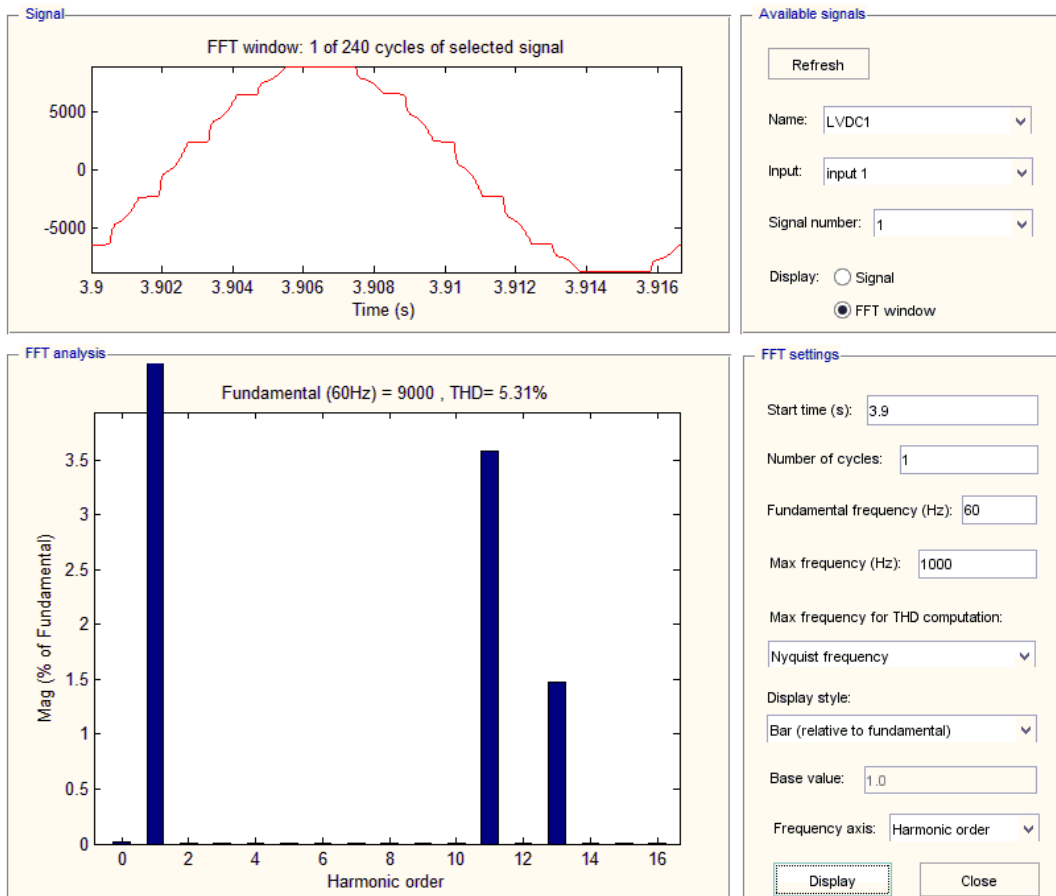
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ανορθωτικής διάταξης όσο και στην έξοδο για να επιτευχθεί τη μείωση του THD στο 5%. Το φάσμα αρμονικών του ρεύματος εισόδου του συστήματος που προσομοιώθηκε φαίνεται στο Σχ. 8



Σχ. 8 Φάσμα αρμονικών του ρεύματος εισόδου

Συνοψίζοντας τα πλεονεκτήματα της 12 παλμικής ανόρθωσης σε σχέση με την αντίστοιχη 6 παλμική είναι ότι:

- Η κυμάτωση της τάσης εξόδου είναι σαφώς βελτιωμένη
- Το ίδιο ισχύει και για την κυμάτωση του ρεύματος εξόδου
- Το αρμονικό φάσμα του ρεύματος εισόδου του ανορθωτή 6 παλμών περιέχει την 7^η και 5^η αρμονική συνιστώσα ενώ του 12παλμικού όχι. Επίσης το THD του ρεύματος εισόδου της 12παλμικής ανόρθωσης είναι σχεδόν το μισό της αντίστοιχης 6παλμικής
 - Κάνουμε οικονομία στη χρήση φίλτρων(πολλά και μεγάλα φίλτρα δημιουργούν κίνδυνο στην ευστάθεια του συστήματος μας)





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



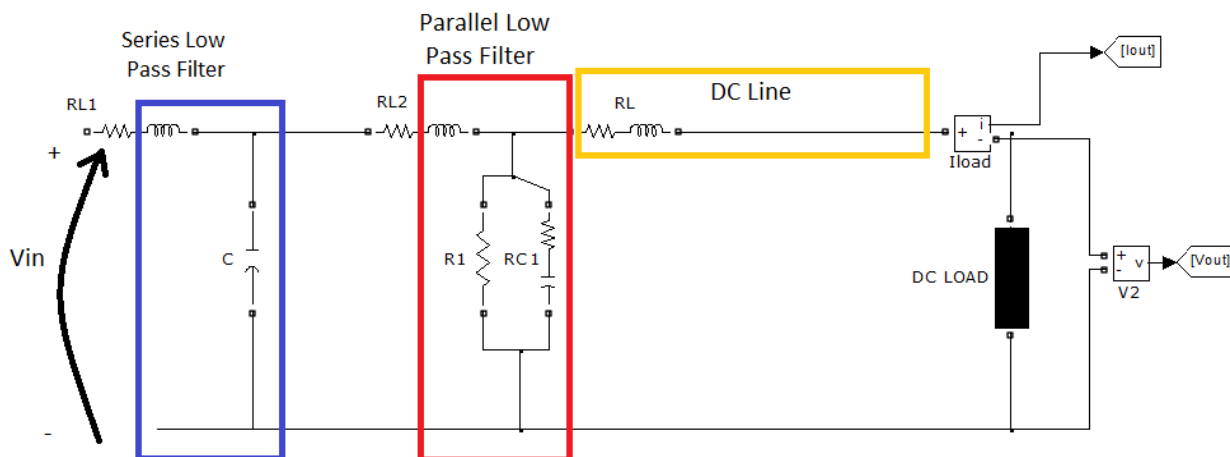
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Ωστόσο μειονεκτήματα αποτελεί το γεγονός ότι:

- Η χρήση μετασχηματιστή με 2 δευτερεύοντα συνεπάγεται αυξημένο κόστος αγοράς και συντήρησης
- Αυξάνεται ο βαθμός πολυπλοκότητας του συστήματος με άμεσο αποτέλεσμα την αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης σφαλμάτων
- Ο έλεγχος γίνεται δυσκολότερος

1.2.2 Ζυγός μέσης DC τάσης των 5kV

Στην έξοδο του ανορθωτή βρίσκεται γραμμή 5kV DC με τα αντίστοιχα βαθυπερατά φίλτρα εξόδου για την αποκοπή των ανώτερων αρμονικών συνιστωσών. Η μοντελοποίηση της γραμμής έγινε σε περιβάλλον Matlab/Simulink® και παρουσιάζεται στο Σχ. 9.



Σχ. 9 Μοντέλο γραμμής 5kV DC με τα αντίστοιχα βαθυπερατά φίλτρα εξόδου

Η έξοδος του ανορθωτή αποτελείται από ένα βαθυπερατό φίλτρο σειράς και ένα παράλληλο με αντίστοιχες συναρτήσεις μεταφοράς τις εξής:

Σειράς :

$$G_1(s) = \frac{1/LC}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}}$$

(29)

Και παράλληλο





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



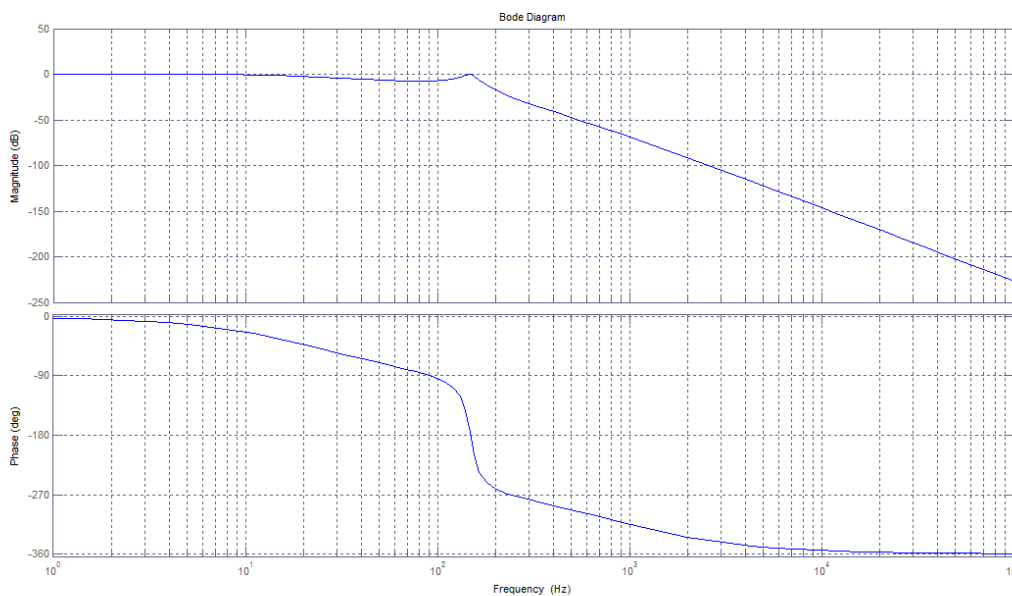
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

$$G_2(s) = \frac{1/LC}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC}} \quad (30)$$

Ύστερα από δοκιμές για την καταλληλότητα των παραμέτρων RLC του φίλτρου η συνολική συνάρτηση μεταφοράς των φίλτρων δίνεται από τη σχέση:

$$H(s) = \frac{7.561 \cdot 10^{11}}{s^4 + 5947 s^3 + 2.609 \cdot 10^6 s^2 + 5.171 \cdot 10^9 s + 7.561 \cdot 10^{11}} \quad (31)$$

Το διάγραμμα Bode για τη συνάρτηση μεταφοράς φαίνεται στο Σχ. 10.



Σχ. 10 Διάγραμμα Bode για τη συνάρτηση μεταφοράς του φίλτρου εξόδου του ανορθωτή

Βλέπουμε ότι για χαμηλές συχνότητες το κέρδος της συνάρτησης μεταφοράς είναι ίσο με 1 και από τα 100Hz περίπου και έπειτα τα φίλτρα αρχίζουν να «κόβουν» με ένα ρυθμό περίπου 70db/δεκάδα. Έτσι πετυχαίνουμε να έχουμε καθαρή DC τάση απηλλαγμένη από τις αρμονικές της τάξης 12n και να κρατήσουμε μόνο τη DC συνιστώσα.

1.2.3 Ζυγός των 1000V μέσω μετατροπέα DC σε DC

Ο μετατροπέας υποβιβασμού DC-DC υλοποιείται με τη βοήθεια ημιαγωγικού στοιχείου ισχύος, IGBT. Το κύκλωμα που υλοποιήθηκε στο περιβάλλον Matlab/Simulink® και παρουσιάζεται στο Σχ. 11.





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

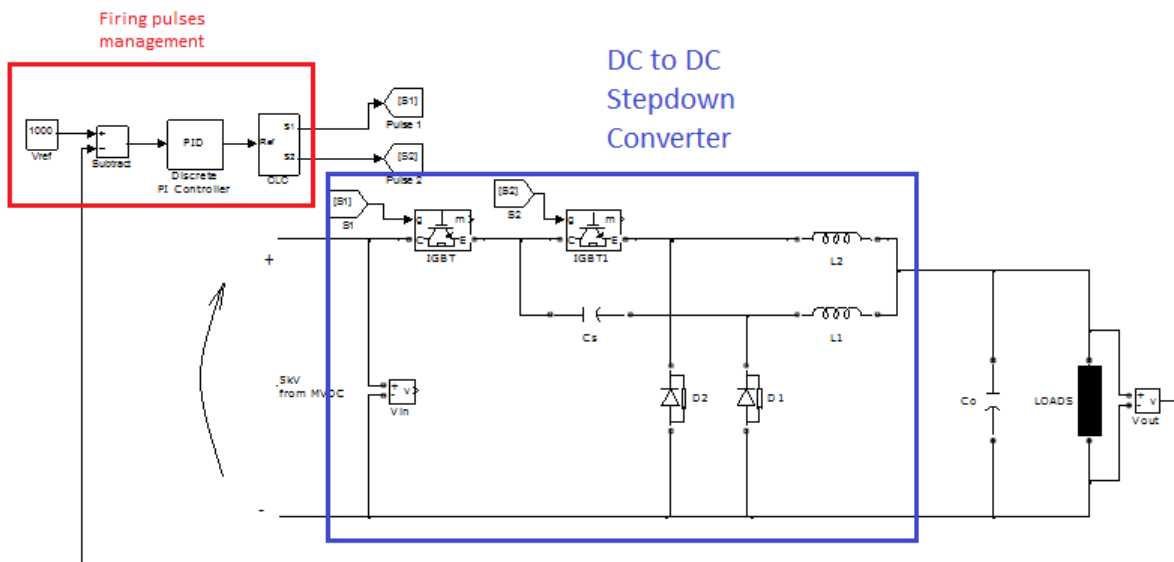


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχ. 11 Μοντέλο μετατροπέας υποβιβασμού DC-DC

1.2.4 Αντιστροφέας 5 επιπέδων για το κύριο σύστημα πρόωσης του πλοίου

Για την οδήγηση του κάθε κινητήρα πρόωσης του πλοίου χρησιμοποιήθηκε ένας αντιστροφέας 5 επιπέδων. Η διαφορά του με τον συμβατικό αντιστροφέα είναι τα πολλαπλά επίπεδα τάσης τα οποία δημιουργούνται με διαίρεση της τάσης εισόδου από πυκνωτές. Όσο ο αριθμός των επιπέδων τάσης αυξάνεται τόσο ο συντελεστής THD τείνει προς το 0 διότι η τάση εξόδου προσεγγίζει την ημιτονοειδή. Με τον αντιστροφέα αυτό επιτυγχάνεται επίσης παραγωγή μεγαλύτερης τάσης εξόδου με καλύτερη ποιότητα χωρίς αύξηση της διακοπτικής συχνότητα των ημιαγωγών κάτι που θα οδηγούσε σε καταπόνηση τους.

Ο αντιστροφέα 5 επιπέδων με διόδους περιορισμού υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab/Simulink[®] και φαίνεται στο Σχ. 12:





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

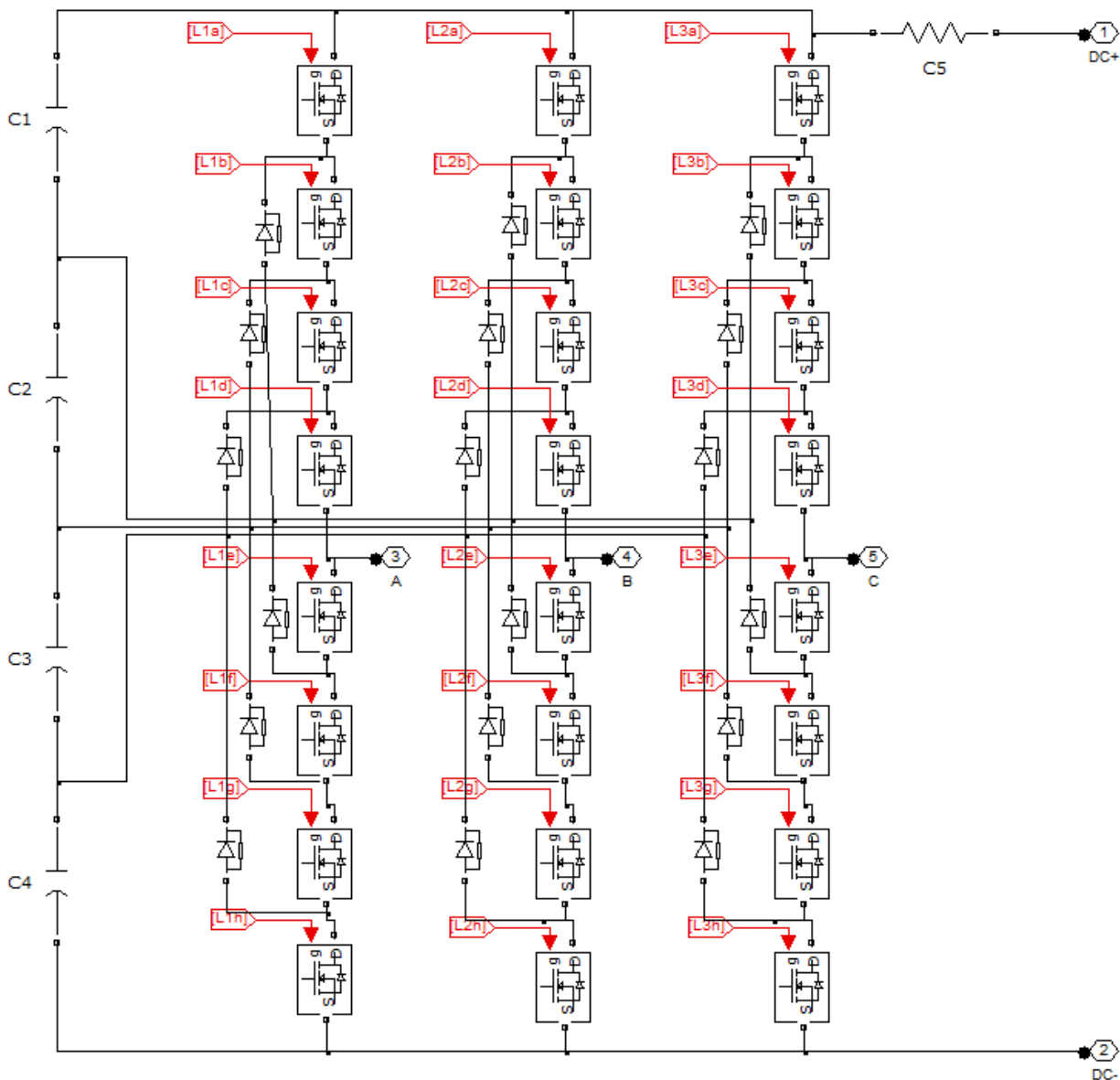


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχ. 12 Μοντέλο αντιστροφέα 5 επιπέδων

Η τεχνική SPWM που χρησιμοποιήθηκε για το διακόπτη είναι η Phase disposition (PD). Γενικά είναι αποδεκτό ότι η τεχνική PD δίνει τη μικρότερη αρμονική παραμόρφωση για την πολική τάση εξόδου του αντιστροφέα.





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



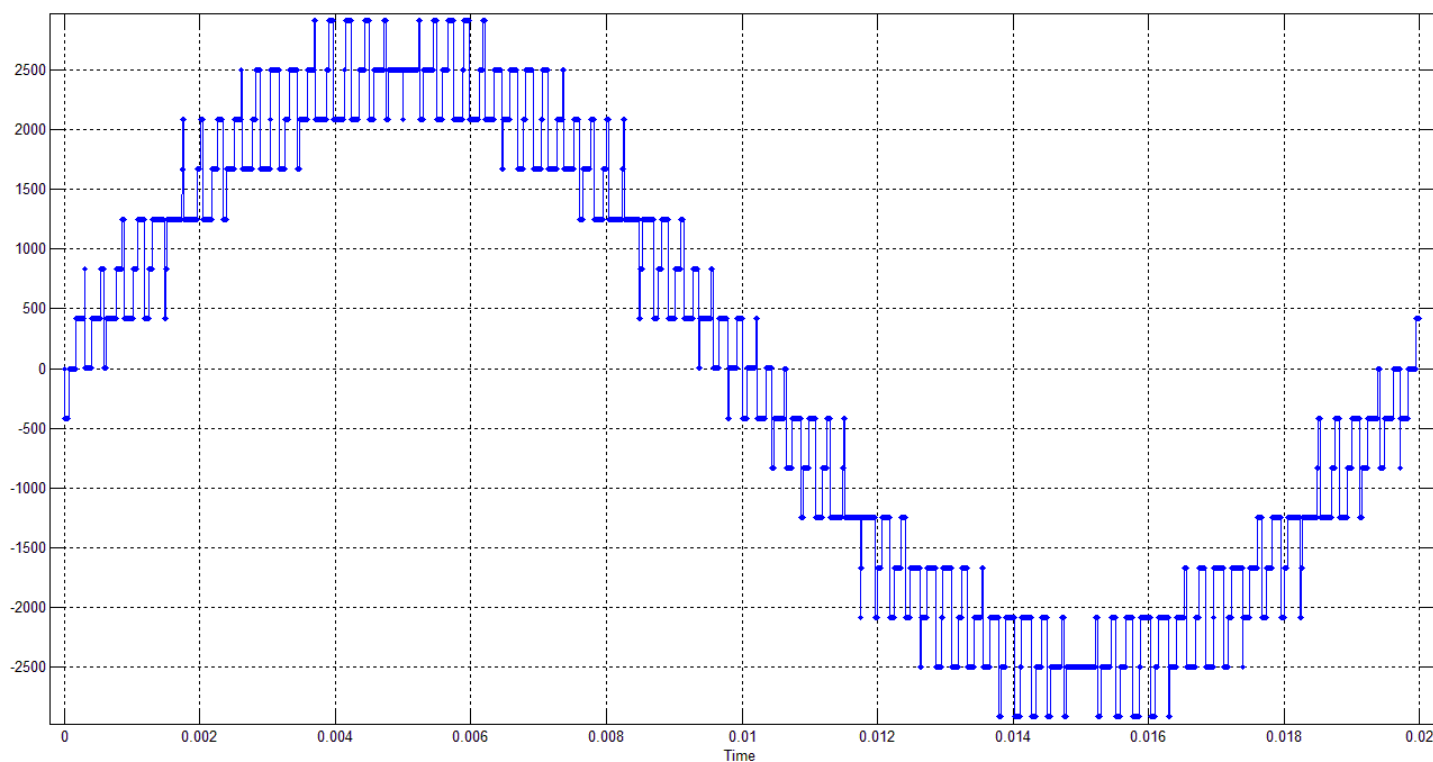
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Στο Σχ. 13α και β φαίνονται οι κυματομορφές της φασικής και πολικής τάσης εξόδου του αντιστροφέα για τη DC τάση εισόδου των 5kV αντίστοιχα.



(α)





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

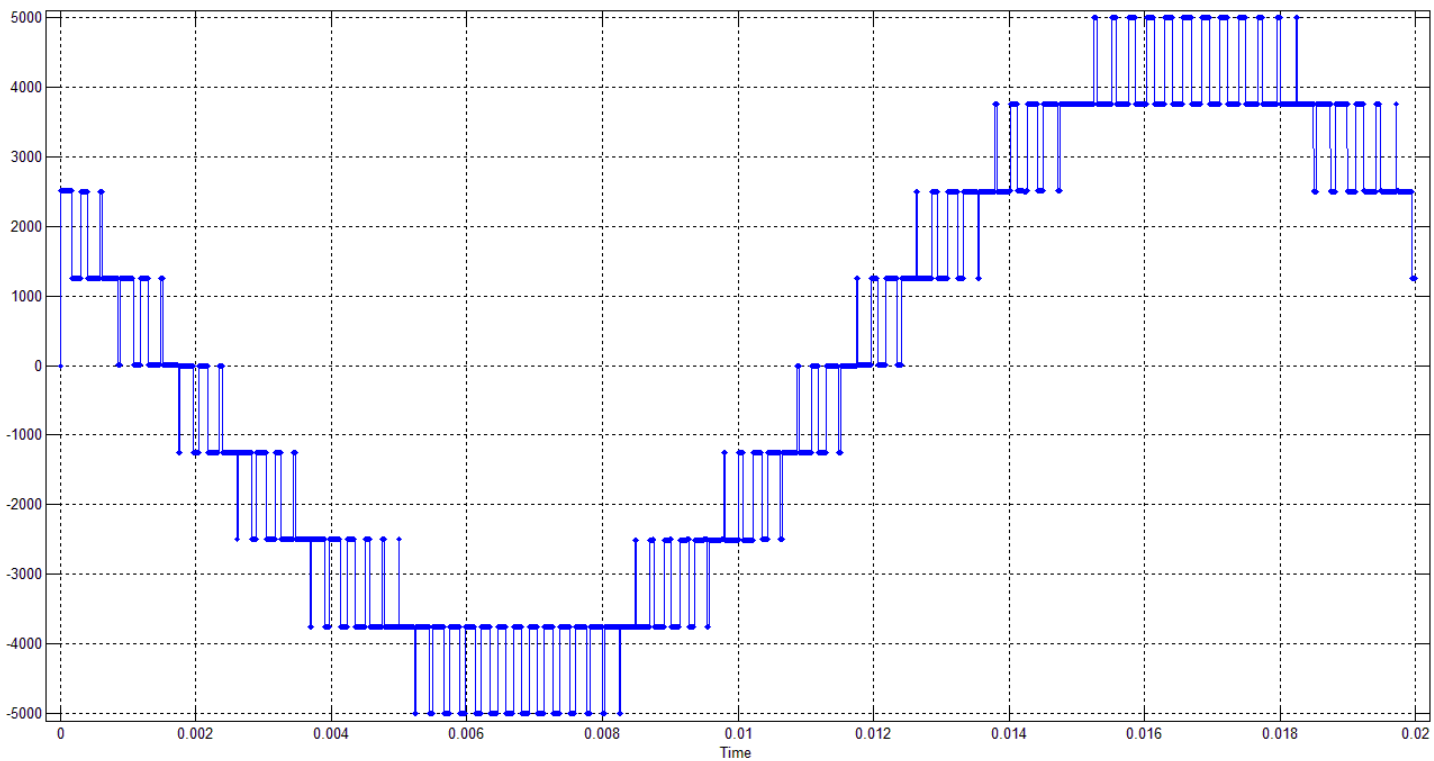


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



(β)

Σχ. 13 Κυματομορφές τάσης εξόδου του αντιστροφέα 5 επιπέδων U_{aN} α) Φασική τάση β) Πολική τάση

1.2.5 Διακόπτες DC

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που υπάρχει με ένα DC δίκτυο είναι αυτό της προστασίας του. Αυτό συμβαίνει κυρίως εξαιτίας της μεγάλης διαφοροποίησης των DC σφαλμάτων από τα αντίστοιχα AC. Τα σημαντικότερα σημεία που διαφοροποιούνται τα DC σφάλματα είναι:

- 1) Παίρνουν πολύ μεγάλες τιμές
- 2) Δε μηδενίζονται αλλά αντίθετα συνεχίζουν να αυξάνονται γραμμικά με το χρόνο και
- 3) Κατά την έναρξη του σφάλματος δημιουργούνται πολύ μεγάλες αιχμές ρευμάτων (πάνω από 20 φορές μεγαλύτερες από το αντίστοιχο ρεύμα στη μόνιμη κατάσταση σε λιγότερο από 1msec).

Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην αναζήτηση εναλλακτικών διατάξεων για την προστασία του DC δικτύου. Ο διακόπτης που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις μας ονομάζεται Z-Source DC Circuit breaker και η χρήση του προτάθηκε από τους K. Corzine & R. Ashton. Η τοπολογία του διακόπτη φαίνεται στο Σχ. 14. Η μοντελοποίηση του διακόπτη έγινε σε περιβάλλον Matlab/Simulink® και φαίνεται στο Σχ. 15.





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

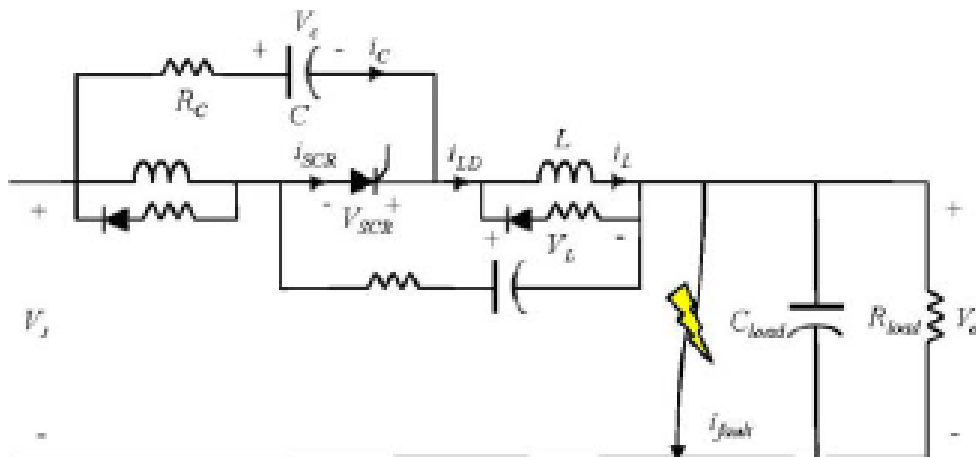


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

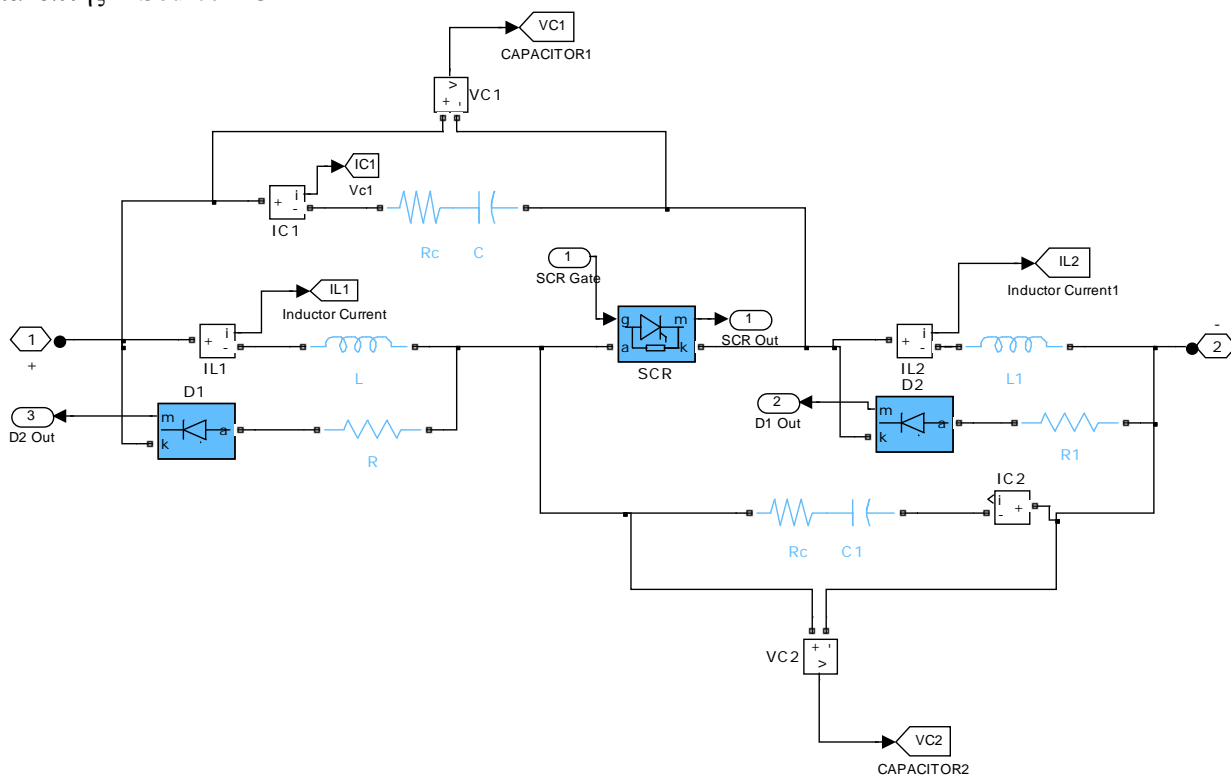
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχ. 14 Διακόπτης Z-Source DC



Σχ. 15 Μοντέλο διακόπτη Z-Source DC

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στη μοντελοποίηση του διακόπτη φαίνονται στον Πίνακα 3





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

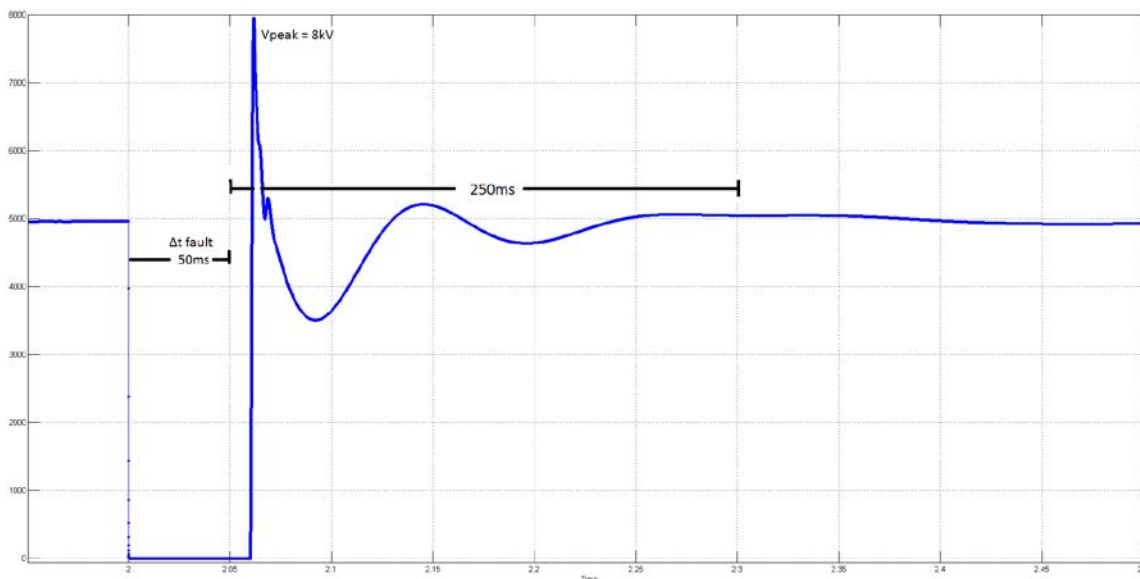
Πίνακας 3
Παράμετροι διακόπτη

$R_c = 0.5\Omega$	$L_1 = 200\mu H$	$C_1 = 125\mu F$
$R_d = .1\Omega$	$L_2 = 200\mu H$	$C_2 = 125\mu F$

Ως διακοπτικό στοιχείο χρησιμοποιείται ένα θυρίστορ. Ο λόγος που επιλέχθηκε το θυρίστορ αντί ενός IGBT ισχύος είναι ότι μπορεί να διαχειριστεί πολλαπλάσιες ισχείς από τα IGBT. Επίσης τα θυρίστορ είναι αρκετά ανθεκτικά σε αιχμές ρεύματος ή τάσης.

Η αρχή λειτουργίας του διακόπτη μπορεί να περιγραφεί παρατηρώντας τη ροή του ρεύματος κατά το σφάλμα. Κατά τη μόνιμη κατάσταση το ρεύμα ρέει μόνο μέσω των αυτεπαγωγών L και το θυρίστορ άγει. Κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος το μεγάλο ρεύμα βραχυκυκλώματος θα περάσει από τους 2 διαγώνιους πυκνωτές. Το ρεύμα των πυκνωτών θα αυξηθεί απότομα, ώστε να προσπαθήσει να φτάσει το ρεύμα των πηγών διασύνδεσης. Σα συνέπεια των παραπάνω το ρεύμα του θυρίστορ θα γίνει 0 το οποίο θα το αναγκάσει να πάει σε κατάσταση αποκοπής. Έτσι η τάση στο φορτίο θα γίνει 0 και η ανάστροφη τάση πώλωσης του θυρίστορ θα είναι ίση με την τάση τροφοδοσίας

ΣταΣχ. 16 και 17 παρουσιάζεται η κυματομορφή τάσης και ρεύματος κατά τη λειτουργία του διακόπτη υπό σφάλμα αντίστασης $1m\Omega$ στο ζυγό μέσης τάσης.



Σχ. 16 Κυματομορφή τάσης του φορτίου στο ζυγό των 5kV



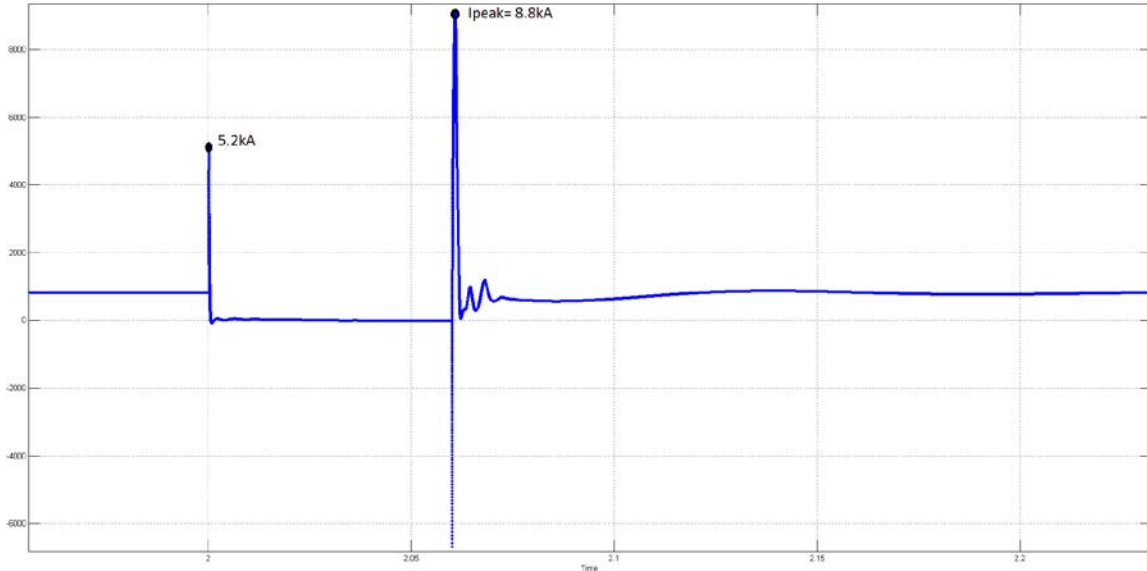


Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχ. 17 Κυματομορφή του ρεύματος του φορτίου στο ζυγό των 5kV

1.3 Καταναλώσεις

1.3.1 Αντισταθμιστής αέργου ισχύος

Ο αντισταθμιστής αέργου ισχύος αποτελείται από μια σύγχρονη γεννήτρια η οποία λειτουργεί σχεδόν υπό μηδενικό συντελεστή ισχύος. Ο σύγχρονος αντισταθμιστής μοντελοποιείται συνεπώς όπως οι γεννήτριες της παραγράφου 1.1.1 αλλά λαμβάνοντας υπόψη πολύ μικρό R_f ώστε να εξασφαλισθεί αναισθησία σε μεταβολές συχνότητας και αρκετά μεγάλο R_v ώστε να εξασφαλισθεί σχεδόν σταθερό επίπεδο τάσης.

1.3.2 Ασύγχρονοι κινητήρες

Για τη μοντελοποίηση των ασύγχρονων κινητήρων χρησιμοποιείται το 4^{ης} τάξης μοντέλο μεταβατικής κατάστασης με το πλαίσιο αναφοράς να στρέφεται σε σύγχρονη ταχύτητα και το άξονα q να προηγείται κατά 90° του άξονα d . Το σετ εξισώσεων που περιγράφουν τη λειτουργία του κινητήρα δίνονται από τις σχέσεις (31) - (38)

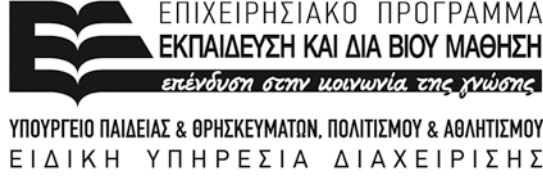
$$u_{sd} = r_s \cdot i_{sd} - \omega_s \cdot \Psi_{sq} + p\Psi_{sd} \quad (31)$$

$$u_{sq} = r_s \cdot i_{sq} + \omega_s \cdot \Psi_{sd} + p\Psi_{sq} \quad (32)$$





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



$$u_{rd} = r_r \cdot i_{rd} - (\omega_s - \omega_r) \cdot \Psi_{rq} + p\Psi_{rd} \quad (33)$$

$$u_{rq} = r_r \cdot i_{rq} + (\omega_s - \omega_r) \cdot \Psi_{rd} + p\Psi_{rq} \quad (34)$$

$$\Psi_{sd} = (L_{ls} + L_m)i_{sd} + L_m i_{rd} \quad (35)$$

$$\Psi_{sq} = (L_{ls} + L_m)i_{sq} + L_m i_{rq} \quad (36)$$

$$\Psi_{rd} = (L_{lr} + L_m)i_{rd} + L_m i_{sd} \quad (37)$$

$$T_e = \frac{3P}{2} (\Psi_{sd} i_{sq} - \Psi_{sq} i_{sd}) \quad (38)$$

Όπου, $p = \frac{d}{dt}$, $\frac{P}{2}$ ο αριθμός των ζευγών πόλων, ω_s η ταχύτητα περιστροφής του πλαισίου και οι δείκτες i_s the rotating s $\{d\}$, $\{q\}$, $\{s\}$, $\{r\}$ υποδηλώνουν τους d , q άξονες, το στάτη και το δρομέα αντίστοιχα. Η εξίσωση κίνησης του κινητήρα δίνεται από τη γνωστή σχέση

$$J_m \frac{d\omega_r}{dt} = T_m - T_e \quad (39)$$

Είσοδοι μοντέλου:

$$u_q, u_d, u_0, T_m$$

Έξοδοι μοντέλου:

$$i_q, i_d, i_o$$

1.3.3 Φορτία σταθερής ισχύος

Τα μοντέλα σταθερής ισχύος μοντελοποιούνται μέσω αντίστοιχων μετασχηματισμών των τάσεων και ρευμάτων στο dq πλαίσιο αναφοράς τα οποία περιγράφονται από τις εξισώσεις:

$$i_d = \frac{u_d}{u_d^2 + u_q^2} P + \frac{u_q}{u_d^2 + u_q^2} Q \quad (40)$$

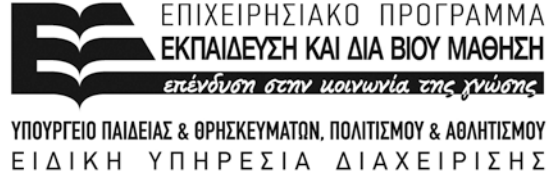
$$i_q = \frac{u_q}{u_d^2 + u_q^2} P - \frac{u_d}{u_d^2 + u_q^2} Q \quad (41)$$

Όπου P και Q η ενεργός και άεργος ισχύς η οποία απορροφάται από το φορτίο αντίστοιχα. Επιπρόσθετα οι τιμές των $i_{d,q}$ οι οποίες προκύπτουν από τις προηγούμενες σχέσεις μπορούν να οδηγήσουν στις συναρτήσεις μεταφοράς 1^{ns} τάξης της μορφής $1/(1 + sT_L)$ ώστε να μοντελοποιήσουν τις σταθερές χρόνου των φορτίων.

Είσοδοι μοντέλου:

$$u_q, u_d, P, Q$$





Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Έξοδοι μοντέλου:

i_q, i_d

1.3.4 Κυψέλη καυσίμου

Η μοντελοποίηση της κυψέλης καυσίμου γίνεται βάσει των παρακάτω εξισώσεων

$$E_{OC} = K_C E_n \quad (42)$$

$$i_o = \frac{zFk(P_{H_2} + P_{O_2})}{Rh} e^{\frac{\Delta G}{RT}} \quad (43)$$

$$A = \frac{RT}{zaF} \quad (44)$$

Όπου,

$R = 8.3145 \text{ J/(mol K)}$

$F = 96485 \text{ A s/mol}$

$z =$ Αριθμός κινούμενων ηλεκτρονίων

$E_n =$ Τάση Nernst (V)

$\alpha =$ Σταθερά μεταφοράς φορτίου

$P_{H_2} =$ Μερική πίεση H_2 στην κυψέλη (atm)

$P_{O_2} =$ Μερική πίεση O_2 στην κυψέλη (atm)

$k =$ Σταθερά Boltzmann = $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

$h =$ Σταθερά Planck = $6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$

$\Delta G =$ Μέγεθος του φράγματος ενεργοποίησης

$T =$ Θερμοκρασία λειτουργίας (K)

$K_c =$ Σταθερά τάσης σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας

Οι ρυθμοί χρησιμοποίησης του υδρογόνου (U_{fH_2}) και του οξυγόνου (U_{fO_2}) δίνονται από τις σχέσεις:

$$U_{fH_2} = \frac{n_{H_2}^r}{n_{H_2}^{in}} = \frac{60000RTNi_{fc}}{zFP_{fuel}V_{lpm}(fuel)^{x\%}} \quad (45)$$





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

$$U_{fO_2} = \frac{n_{O_2}^r}{n_{O_2}^{in}} = \frac{60000RTNi_{fc}}{zFP_{air}V_{lpm(air)}x\%} \quad (46)$$

όπου,

P_{fuel} = Απόλυτη πίεση τροφοδοσίας του καυσίμου (atm)

P_{air} = Απόλυτη πίεση του αέρα (atm)

$V_{lpm(fuel)}$ = Ρυθμός ροής του καυσίμου (l/min)

$V_{lpm(air)}$ = Ρυθμός ροής του αέρα (l/min)

x = Ποσοστό υδρογόνου στο καύσιμο (%)

y = Ποσοστό οξυγόνου στο καύσιμο (%)

N = Αριθμός κελιών

Οι μερικές πιέσεις και η τάση Nernst δίνονται από τις σχέσεις:

$$P_{H_2} = (1 - U_{fH_2})x\% P_{fuel} \quad (47)$$

$$P_{H_2O} = (w + 2y\%U_{fO_2})P_{air} \quad (48)$$

$$P_{O_2} = (1 - U_{fO_2})y\% P_{air} \quad (49)$$

$$E_n = \begin{cases} 1.229 + (T - 298) \frac{-44.43}{zF} + \frac{RT}{zF} \ln(P_{H_2} P_{O_2}^{1/2}) & \text{if } T \leq 100^\circ C \\ 1.229 + (T - 298) \frac{-44.43}{zF} + \frac{RT}{zF} \ln\left(\frac{P_{H_2} P_{O_2}^{1/2}}{P_{H_2O}}\right) & \text{if } T > 100^\circ C \end{cases} \quad (50)$$

όπου,

P_{H_2O} = Μερική πίεση υδρατμών στην κυψέλη (atm)

w = Ποσοστό υδρατμών στο οξειδωτικό (%)





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Από τις μερικές πιέσεις των αερίων και την τάση Nernst, οι νέες τιμές της τάσεως του ανοικτού κυκλώματος (E_{oc}) και ρεύματος ανταλλαγής (i_0) μπορούν να υπολογιστούν.

Οι παράμετροι a , ΔG και K_c υπολογίζονται με βάση την καμπύλη πόλωσης σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας, μαζί με ορισμένες πρόσθετες παραμέτρους, όπως η απόδοση στην κατώτερη θερμογόνο δύναμη (low heating value, LHV) της κυψέλης, η σύνθεση του καυσίμου και του αέρα, οι πιέσεις τροφοδοσίας και οι θερμοκρασίες οι οποίες μπορούν εύκολα να βρεθούν στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

Οι ονομαστικές τιμές των ρυθμών μετατροπής των αερίων υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$U_{fH_2} = \frac{n_{nom} \Delta h^0 (H_2O(gas)) N}{z F V_{nom}} \quad (51)$$

$$U_{fO_2} = \frac{60000 R T_{nom} N I_{nom}}{2 z F P_{air,nom} V_{lpm(air),nom} \cdot 0.21} \quad (52)$$

όπου,

η_{nom} = Ονομαστική απόδοση για LHV (%)

$\Delta h^0 (H_2O(gas)) = 241.83 \times 10^3 \text{ J/mol}$

V_{nom} = Ονομαστική τάση (V)

I_{nom} = Ονομαστικό ρεύμα (A)

$V_{lpm(air),nom}$ = Ονομαστικός ρυθμός ροής αέρα (l/min)

P_{airnom} = Ονομαστική απόλυτη πίεση αέρα τροφοδοσίας (Pa)

T_{nom} = Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας (K)

Έλεγχος κυψέλης καυσίμου

Εξαιτίας των ταχύτατων αποκρίσεων των ηλεκτρονικών ισχύος τα οποία ελέγχουν την κυψέλη μπορεί χωρίς ιδιαίτερα σφάλματα να υποθεθεί ότι το ρεύμα ακολουθεί άμεσα τις εντολές αναφοράς οι οποίες δίνονται κι έτσι προκύπτει από τη σχέση:

$$i_{fc} = \frac{1}{1 + s T_{conv}} i_{fc}^* \quad (53)$$





Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

όπου,

$$i_{fc}^* = \frac{P_{fc}^*}{V_{fc}} \quad (54)$$

Η παραγόμενη ισχύ από την κυψέλη δίνεται από τον τύπο:

$$P_{fc} = V_{fc} \cdot i_{fc} \quad (55)$$

Αγνοώντας τις απώλειες ισχύος των ηλεκτρονικών μετατροπέων η DC τάση εξόδου της κυψέλης προκύπτει από την επίλυση της σχέσης:

$$CV_{dc} \frac{dV_{dc}}{dt} = P_{fc} - P_{grid} \quad (56)$$

