

Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Ηλεκτρονικής

Πτυχιακή εργασία

**Προσομοίωση κυκλωμάτων
ηλεκτρονικών ισχύος
με το λογισμικό Matlab/Simulink**

Κωδικός: 09243ΥΣ

Γεώργιος Ζάβος

ΚΑΣ: 500544

Επιβλέπων: κ. Παναγιώτης Δημητριάδης

Ημερομηνία ανάληψης: Σεπτέμβριος 2008

Ημερομηνία περάτωσης: Σεπτέμβριος 2012

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την σχεδίαση και την προσομοίωση κυκλωμάτων που ανήκουν στην κατηγορία των ηλεκτρονικών ισχύος με το λογισμικό MATLAB/Simulink.

Γίνεται επιλογή κυκλωμάτων της κατηγορίας των ηλεκτρονικών ισχύος τα οποία μοντελοποιούνται και προσομοιώνονται στο Simulink. Παρουσιάζονται αναλυτικά η διαδικασία σχεδίασης κάθε κυκλώματος και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωσή τους.

A B S T R A C T

The subject of the following thesis is the design and simulation of circuits that belong to the category of power electronics using the MATLAB/Simulink software.

Starting from the simple and basic circuit, we move to the more complex. The selected circuits are presented each time from the first stage of composition up to the final stage of simulation and the extraction of results.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	3
Εισαγωγή.....	5
Κυκλώματα.....	9
1. Μονοφασικός ανορθωτής με δίοδο και ωμικό φορτίο	11
2. Μονοφασικός ανορθωτής με <i>SCR</i> , φορτίο επαγωγικό-ωμικό και δίοδο ελεύθερης ροής.....	21
3. Μονοφασικός ανορθωτής με <i>SCR</i> , ωμικό-επαγωγικό φορτίο και συνεχή πηγή τάσης.....	30
4. Μονοφασικός ανορθωτής γέφυρας με διόδους και φορτίο επαγωγικό-ωμικό	36
5. Τριφασικός ανορθωτής με <i>SCR</i> , δίοδο ελεύθερης ροής και φορτίο επαγωγικό-ωμικό	43
6. Τριφασικός ανορθωτής γέφυρας με διόδους	54
7. Τριφασικός μετατροπέας γέφυρας τεσσάρων σκελών	62
8. Μονοφασικός ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης	69
9. Τριφασικός ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης	76
10. Διακοπτικός μετατροπέας συνεχούς ρεύματος υποβιβασμού τάσης	83
11. Μετατροπέας υποβιβασμού-ανύψωσης τάσης.....	93
12. Τριφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης	100
Βιβλιογραφία.....	107

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

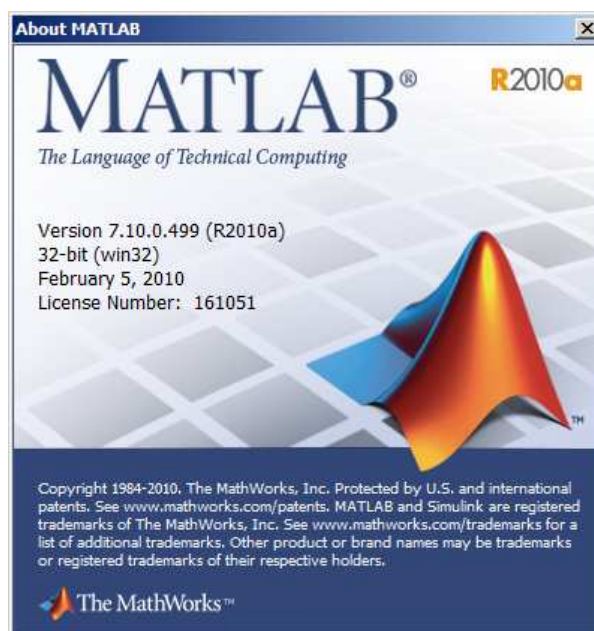
Τι είναι το MATLAB/Simulink

Το MATLAB (*Matrix Laboratory* – εργαστήριο πινάκων) (Εικ.1.α) είναι ένα πακέτο λογισμικού που χρησιμοποιείται σε πανεπιστημιακά μαθήματα αλλά και ερευνητικές και άλλες εφαρμογές με επιστημονικούς υπολογισμούς. Εκτός από την επίλυση αριθμητικών υπολογισμών παρέχει οπτικοποίηση δεδομένων (γραφικές παραστάσεις) και κάποιες δυνατότητες προγραμματισμού.

Το Simulink είναι προέκταση του λογισμικού MATLAB. Όπως δηλώνεται και από το όνομα, ρόλος του είναι η σχεδίαση, η προσομοίωση και η ανάλυση μοντέλων συστημάτων. Η μοντελοποίηση γίνεται μέσα από ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής (GUI) σε αντίθεση με την πληκτρολόγηση στο παράθυρο εντολών του MATLAB.

Ένα μοντέλο συστήματος αποτελείται από δομικά στοιχεία που ονομάζονται «blocks». Το Simulink περιλαμβάνει πολλά blocks στις βιβλιοθήκες του, αλλά υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν νέα από τον χρήστη ή να εισαχθούν έτοιμα (π.χ. από το internet). Κάθε block έχει δική του εμφάνιση και όνομα και περιγράφεται από τις παραμέτρους με τις οποίες επηρεάζει το υπόλοιπο σύστημα.

Λόγω των πολλών δυνατοτήτων που προσφέρει και του μεγάλου φάσματος εφαρμογών που καλύπτει, το Simulink (και κατ'επέκταση το MATLAB) θεωρείται από τα δημοφιλέστερα εργαλεία του είδους του.



Εικόνα 1.α

Το θέμα της εργασίας

Το θέμα της εργασίας είναι η σχεδίαση και η προσομοίωση κυκλωμάτων ηλεκτρονικών ισχύος με το λογισμικό MATLAB/Simulink.

Όταν λέμε *προσομοίωση* ενός κυκλώματος εννοούμε την εικονική λειτουργία του με πραγματικές τιμές των στοιχείων και πραγματικές τιμές τάσεων-εντάσεων. Τα πλεονεκτήματα της προσομοίωσης είναι πολλά. Είναι αναμφισβήτητα ταχύτερος και οικονομικότερος τρόπος από την κατασκευή ενός πραγματικού κυκλώματος. Δίνει την δυνατότητα επανάληψης με ίδιες ή διαφορετικές ελεγχόμενες παραμέτρους. Μας επιτρέπει να πειραματιστούμε αλλάζοντας στοιχεία του κυκλώματος. Όλα αυτά συμβάλλουν στην καλύτερη μελέτη και κατανόηση των λειτουργιών του κυκλώματος.

Παρακάτω γίνεται επιλογή κυκλωμάτων της κατηγορίας των ηλεκτρονικών ισχύος τα οποία μοντελοποιούνται και προσομοιώνονται στο Simulink. Παρουσιάζονται αναλυτικά η διαδικασία σχεδίασης κάθε κυκλώματος και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωσή τους.

Με **έντονους** χαρακτήρες συμβολίζονται πληροφορίες που δίνονται από το πληκτρολόγιο σε διάφορα πεδία, π.χ. *Amplitude (V): 300* πληκτρολογείται ο αριθμός 300 στο πεδίο Amplitude (πλάτος).

Το σύμβολο > δηλώνει την διαδοχή εντολών μέσα από τα μενού (π.χ. *Αρχείο > Αποθήκευση ως... κλπ*).

Για τους δεκαδικούς αριθμούς η υποδιαστολή αναπαρίσταται με τελεία (.) και όχι με κόμμα (,), όπως συνηθίζεται στην ελληνική βιβλιογραφία. Αυτό γίνεται για συμφωνία με το λογισμικό, το οποίο ακολουθεί το αμερικάνικο πρότυπο.

Οι γραφικές παραστάσεις που προκύπτουν από την προσομοίωση έχουν υποστεί επεξεργασία χρωμάτων (έχει αφαιρεθεί το μαύρο και το γκρι χρώμα παρασκηνίου) με το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας Photoshop για καλύτερη απεικόνιση στο έγγραφο της εργασίας.

Τα κυκλώματα που παρουσιάζονται περιλαμβάνονται στο συνοδευτικό DVD ως αρχεία «.mdl». Για προβολή-επεξεργασία των αρχείων θα πρέπει να αντιγραφούν και να επικολληθούν σε υπολογιστή με εγκατεστημένο το MATLAB/Simulink.

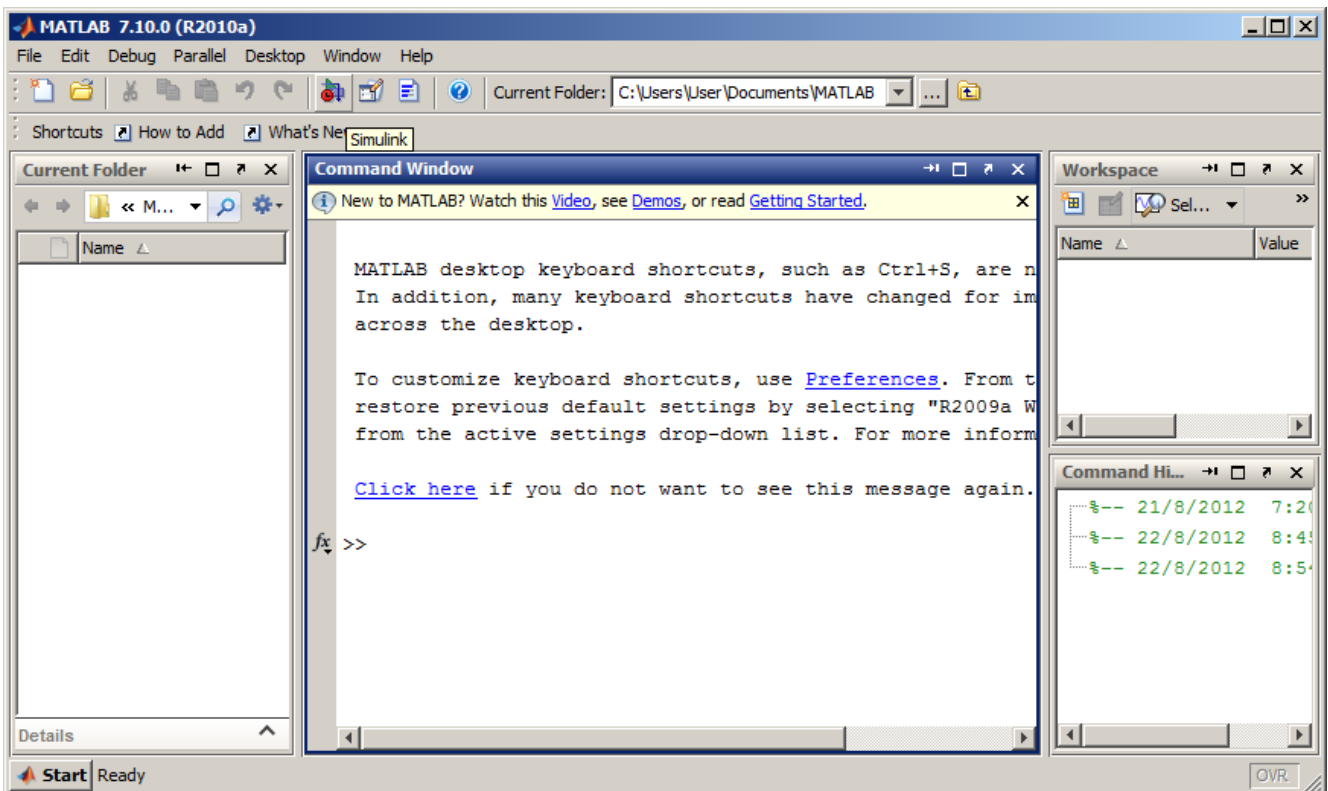
Η έκδοση του MATLAB που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία είναι η 7.10.0.499 (R2010a).

Έναρξη του Simulink

Στο Simulink έχουμε πρόσβαση κάνοντας κλικ στο αντίστοιχο εικονίδιο στη γραμμή εργαλείων του MATLAB ή πληκτρολογώντας την εντολή **simulink** στο παράθυρο εντολών (Εικόνα 1.β).

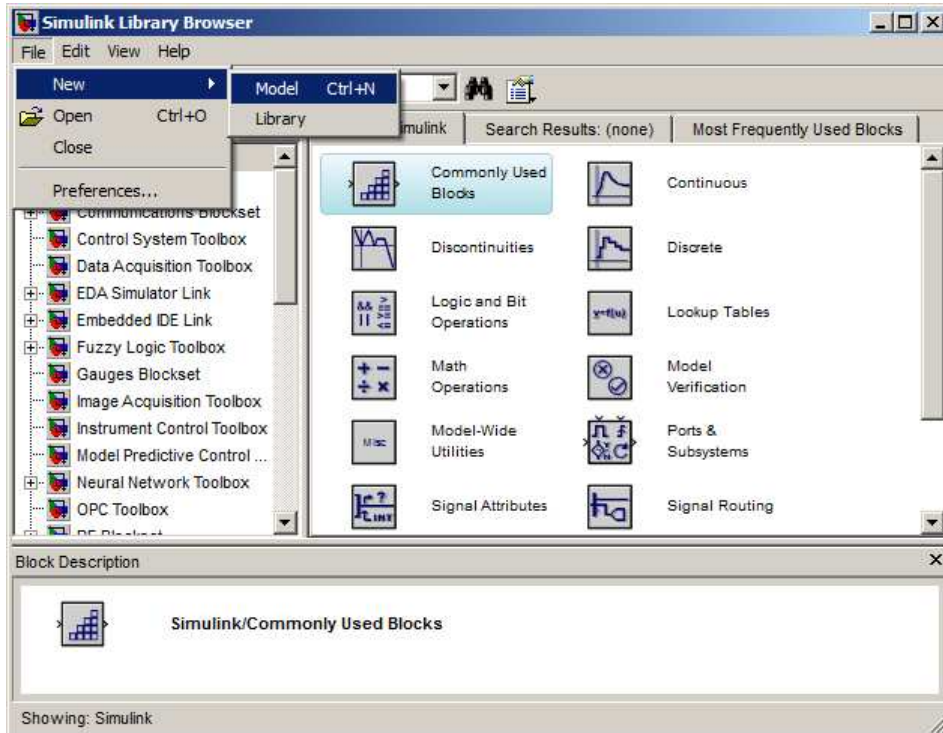
Το αποτέλεσμα είναι να ανοίξει το παράθυρο *Simulink Library Browser* (Εικόνα 1.γ). Με κλικ στο μενού *File > New > Model* δημιουργείται ένα νέο αρχείο (*untitled*) και σε αυτόν τον χώρο θα σχεδιαστεί το κύκλωμα (Εικόνα 1.δ).

Τα εξαρτήματα των κυκλωμάτων (π.χ. αντιστάσεις, δίοδοι, πηνία), οι συσκευές (π.χ. πηγές τάσης), τα όργανα ένδειξης (π.χ. παλμογράφοι), και λοιπά blocks που θα χρησιμοποιηθούν θα εισαχθούν από τις βιβλιοθήκες που εμφανίζονται στο αριστερό μέρος του παραθύρου *Simulink Library Browser*.

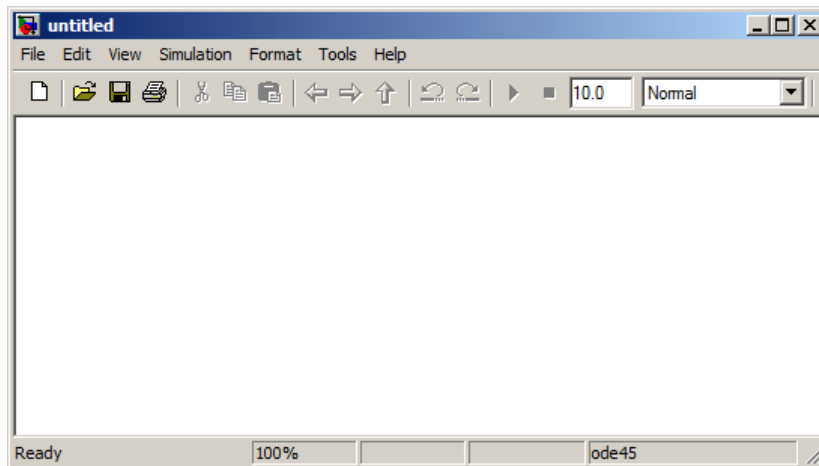


Εικόνα 1.β





Εικόνα 1.γ



Εικόνα 1.δ

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Ηλεκτρονικά ισχύος και διακόπτες

Τα ηλεκτρονικά ισχύος (*power electronics*) αναφέρονται σε μια κατηγορία ηλεκτρονικών διατάξεων οι οποίες σχετίζονται με τη μετατροπή, τον έλεγχο και τη ρύθμιση της ηλεκτρικής ισχύος που παρέχει μια πηγή (π.χ. δίκτυο της ΔΕΗ) σε ένα φορτίο σύμφωνα με τις προδιαγραφές του φορτίου αυτού. Γι' αυτόν τον λόγο οι διατάξεις αυτές αναφέρονται και ως *μετατροπείς ηλεκτρικής ενέργειας* και ανάλογα με τη μορφή ισχύος εισόδου-εξόδου μπορούμε να τους χωρίσουμε σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Μετατροπείς AC-DC ή ανορθωτές (*rectifiers*), οι οποίοι μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση μιας πηγής σε συνεχή.

2. Μετατροπείς DC-AC ή αντιστροφείς (*inverters*), οι οποίοι μετατρέπουν τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη.

3. Μετατροπείς συνεχούς ρεύματος (DC-DC) (*DC-DC converters, choppers*), οι οποίοι μετατρέπουν τη συνεχή τάση μιας πηγής σε συνεχή τάση με διαφορετικό πλάτος ή/και διαφορετική πολικότητα.

4. Μετατροπείς εναλλασσόμενου ρεύματος (AC-AC) ή κυκλομετατροπείς (*cyclo-converters*), οι οποίοι μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση μιας πηγής είτε σε εναλλασσόμενη τάση με διαφορετικό πλάτος (*AC voltage controllers*), είτε σε εναλλασσόμενη τάση με διαφορετική συχνότητα, είτε μετατρέπουν τον αριθμό των φάσεων της πηγής.

Κύριο χαρακτηριστικό των ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος είναι η λειτουργία με υψηλότερες τιμές απόδοσης (πάνω 85%) σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα (20%) που συνεπάγεται μικρότερο ενεργειακό κόστος.

Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ηλεκτρονικών διακοπών που συνδυάζουν μεγάλες ταχύτητες στον χειρισμό τους, μεγάλη διάρκεια ζωής και την δυνατότητα να ελέγχουν μεγάλες περιοχές ισχύος με πολύ μικρές απώλειες (και επομένως υψηλό βαθμό απόδοσης).

Οι διακόπτες ισχύος διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που επιτελείται η διαδικασία αγωγής (έναυση) και αποκοπής (σβέση):

1. Μη ελεγχόμενοι (π.χ. δίοδος). Η έναυση και η σβέση επιβάλλονται από το κύκλωμα ισχύος.

2. Μερικώς ελεγχόμενοι ή ημιελεγχόμενοι (π.χ. *SCR*). Μέσω του ακροδέκτη ελέγχου ελέγχεται μόνο η διαδικασία της έναυσης. Η σβέση επιβάλλεται από την τάση ή το ρεύμα του κυκλώματος ισχύος.

3. Πλήρως ελεγχόμενοι (π.χ. *transistors, MOSFET, IGBT*). Η έναυση και η σβέση καθορίζεται από ένα σήμα οδήγησης σε μορφή παλμού που εφαρμόζεται στον ακροδέκτη ελέγχου.

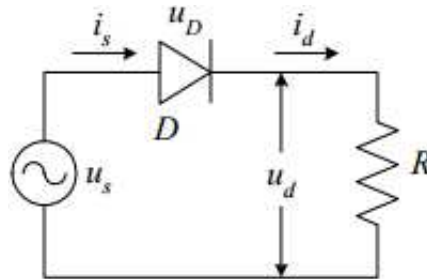
Τα κυκλώματα της εργασίας

Στην παρούσα εργασία ξεκινούμε από απλές και προχωρούμε σε πιο σύνθετες διατάξεις ισχύος. Τα κυκλώματα που εξετάζονται είναι:

1. Μονοφασικός ανορθωτής με δίοδο και ωμικό φορτίο
2. Μονοφασικός ανορθωτής με *SCR*, φορτίο επαγωγικό-ωμικό και δίοδο ελεύθερης ροής
3. Μονοφασικός ανορθωτής με *SCR*, ωμικό-επαγωγικό φορτίο και συνεχή πηγή τάσης
4. Μονοφασικός ανορθωτής γέφυρας με διόδους και φορτίο επαγωγικό-ωμικό
5. Τριφασικός ανορθωτής με *SCR*, δίοδο ελεύθερης ροής και φορτίο επαγωγικό-ωμικό
6. Τριφασικός ανορθωτής γέφυρας με διόδους
7. Τριφασικός μετατροπέας γέφυρας τεσσάρων σκελών
8. Μονοφασικός ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης
9. Τριφασικός ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης
10. Διακοπτικός μετατροπέας συνεχούς ρεύματος υποβιβασμού τάσης
11. Μετατροπέας υποβιβασμού-ανύψωσης τάσης
12. Μονοφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης με δύο σκέλη

Για την σχεδίαση του πρώτου κυκλώματος γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή της διαδικασίας εισαγωγής και ρύθμισης παραμέτρων των blocks και της προσομοίωσης. Στα επόμενα κυκλώματα διαδικασίες που επαναλαμβάνονται παρουσιάζονται πιο συνοπτικά και δίνεται περισσότερη βάση όπου προκύπτουν νέα θέματα.

1. Μονοφασικός ανορθωτής με δίοδο και ωμικό φορτίο

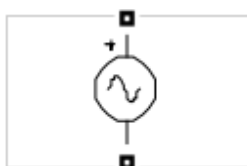


Εικόνα 1.1

Οι ανορθωτές γενικά χρησιμοποιούνται για μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου (συχνότητας 50 ή 60Hz) σε συνεχή τάση. Ο απλούστερος ανορθωτής αποτελείται από μία εναλλασσόμενη πηγή, μία δίοδο και ένα ωμικό φορτίο σε σειρά (Εικ. 1.1).

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα

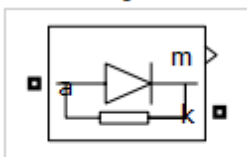
Εδώ αναφέρονται τα όλα blocks που απαρτίζουν το κύκλωμα, και άλλα ειδικά blocks που είναι απαραίτητα για την προσομοίωση (Εικ. 1.2, 1-3). Εσωτερικά των αγκυλών [] αναφέρονται η ακριβής θέση κάθε block και το όνομα με το οποίο το βρίσκουμε στις βιβλιοθήκες του Simulink.



AC Voltage Source

- Εναλλασσόμενη πηγή τάσης

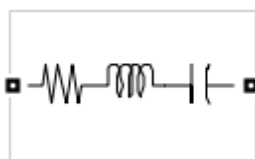
[*SimPowerSystems > Electrical Sources > AC Voltage Source*]



Diode

- Δίοδος

[*SimPowerSystems > Power Electronics > Diode*]

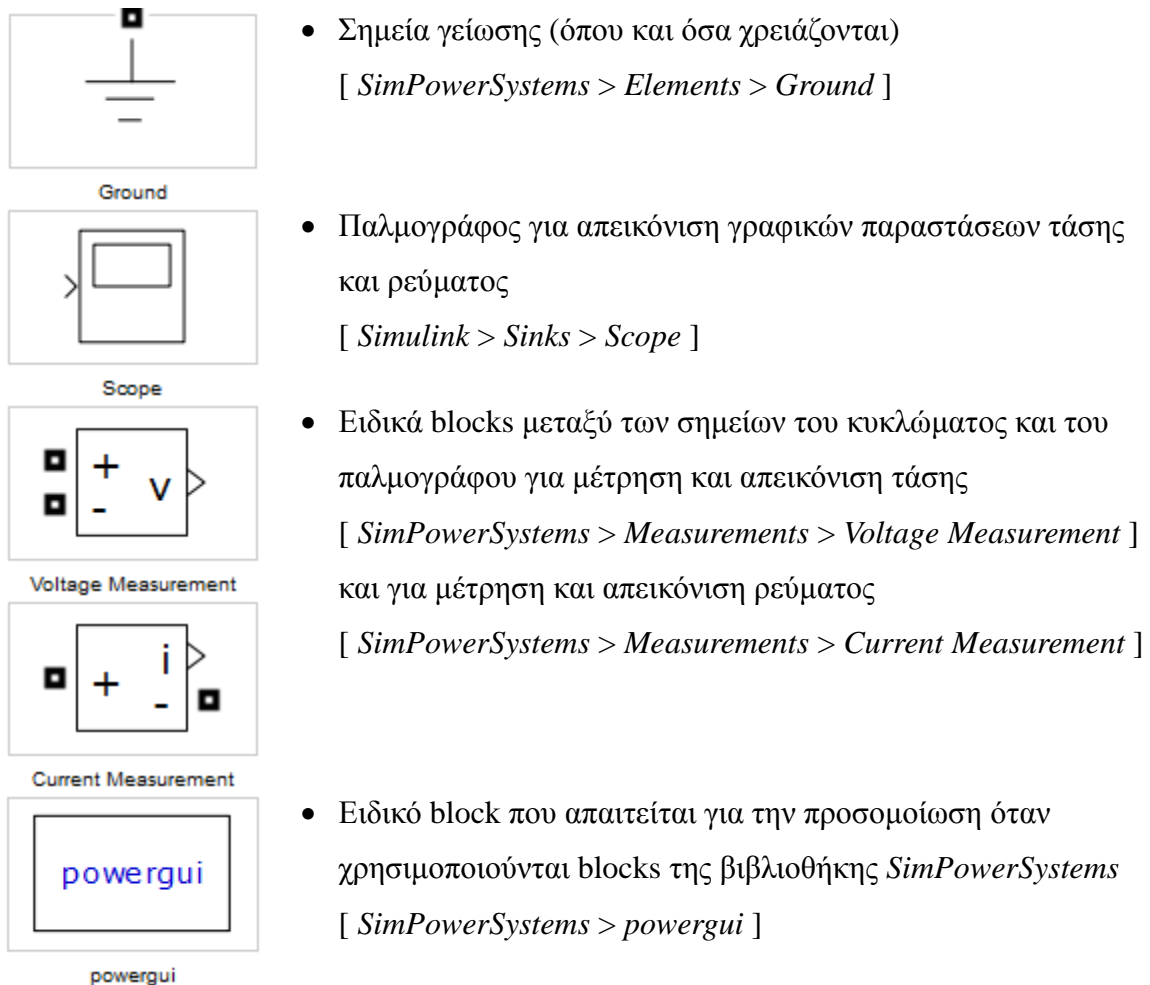


Series RLC Branch

- Ωμική αντίσταση

[*SimPowerSystems > Elements > Series RLC Branch*]

Εικ. 1.2



Εικ. 1.3

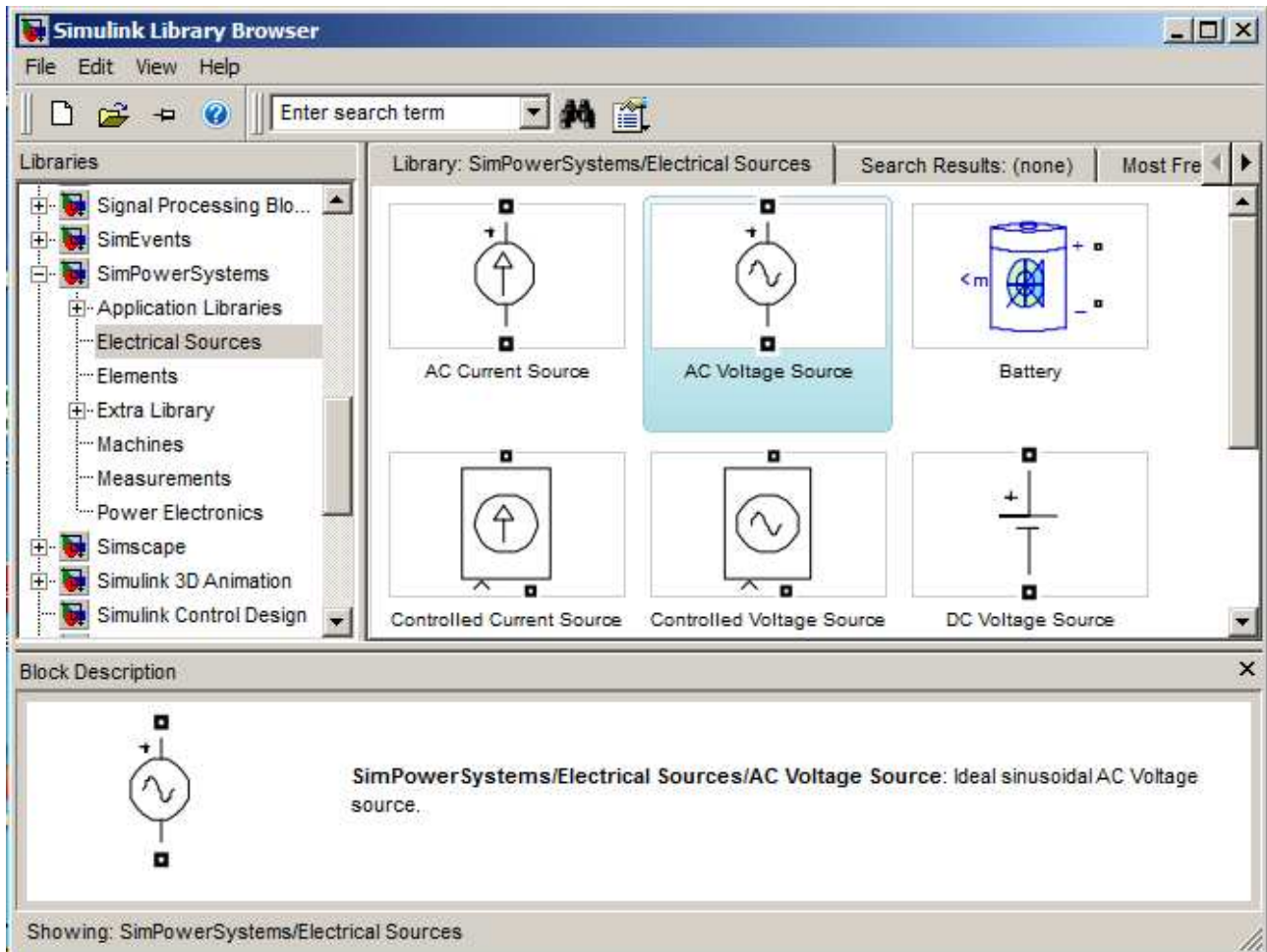
Διαδικασία σχεδίασης

Τα blocks εισάγονται ένα-ένα από τις βιβλιοθήκες του παραθύρου *Simulink Library Browser* (Εικ.1.4) από τις θέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω στο νέο αρχείο με τον δείκτη του ποντικιού, με επιλογή, σύρσιμο και εναπόθεση (μέθοδος «drag and drop») σε κατάλληλη θέση στο αρχείο που να βολεύει στην μεταξύ τους συνδεσμολογία. Ένας άλλος τρόπος είναι με δεξί κλικ και *Add to newcircuit*, όπου για παράδειγμα *newcircuit* το όνομα αρχείου στο οποίο δουλεύουμε. Στο κάτω μέρος του παραθύρου *Simulink Library Browser* εμφανίζονται πληροφορίες για το επιλεγμένο block.

Όπου χρειάζεται μπορούμε να μορφοποιήσουμε κάθε block μέσω του μενού *Format* (ή δεξί κλικ πάνω στο block και *Format*). Δίνεται η δυνατότητα περιστροφής, αλλαγής του μεγέθους, χρωματισμού, και πολλές άλλες πιο εξειδικευμένες.

Επίσης, μπορούμε να αλλάξουμε το όνομα του block ή και να το αποκρύψουμε. Για παράδειγμα, κάνοντας κλικ στο κείμενο του block *AC Voltage Source* μπορούμε να γράψουμε κάτι πιο επεξηγηματικό, όπως π.χ. **us 230V / 50Hz**.

Παρακάτω δίνονται αναλυτικές οδηγίες για κάθε block.



Εικόνα 1.4

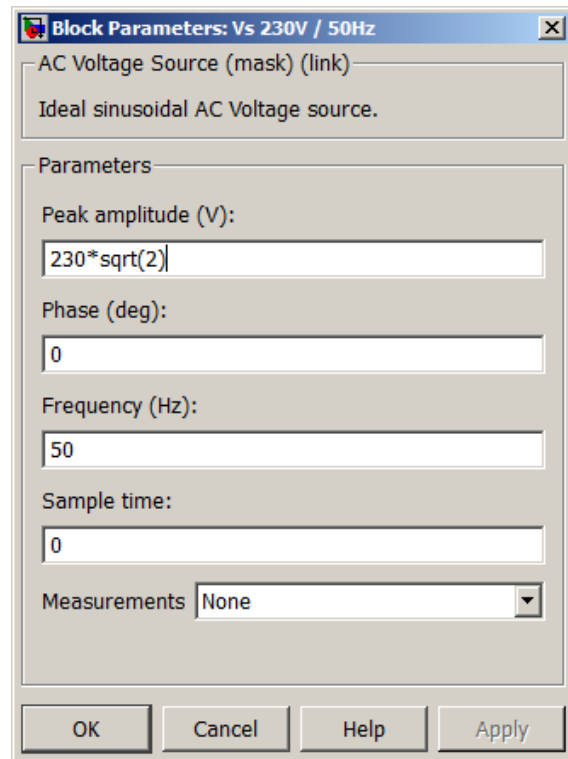
AC Voltage Source: Με δεξί κλικ στο block της πηγής AC επιλέγουμε *Mask parameters...* (ή εναλλακτικά κάνουμε διπλό κλικ στο block) και ανοίγει το παράθυρο διαλόγου *Block Parameters* όπου εισάγονται οι παράμετροι του block (Εικ. 1.5).




Στο πεδίο *Peak amplitude (V)* εισάγουμε την τιμή της κορυφής σε Volts, έστω **230*sqrt(2)**. Η τιμή που δηλώσαμε σημαίνει ότι η μέγιστη τάση (V_{peak}) είναι $230*(\sqrt{2}) = 325.269V$ και η τιμή RMS είναι $230*(\sqrt{2})/(\sqrt{2}) = 230V$.

Στο πεδίο *Frequency (Hz)* εισάγουμε έστω **50**. Έτσι η πηγή u_s είναι 230V/50Hz. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα εισαγωγής καθυστέρησης (*Phase (deg)*) και δειγματοληψίας (*Sample time*), που όμως δε θα χρησιμοποιηθούν σε αυτό το κύκλωμα.

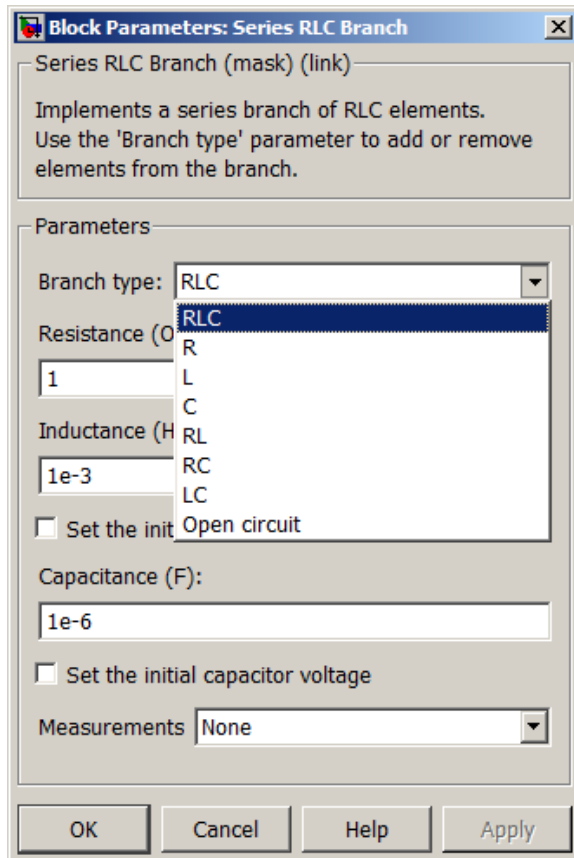
Diode: Η άνοδος (ακίδα *a*) της διόδου *D* συνδέεται με το θετικό άκρο της πηγής, και η κάθοδος (ακίδα *k*) στο ένα άκρο του φορτίου. Την ακίδα *m* μπορούμε να την παραλείψουμε ξετσεκάροντας την επιλογή *Show measurement port* που βρίσκεται στο *Mask parameters...* Ο ρόλος της είναι η λήψη μετρήσεων, όμως σε αυτό το κύκλωμα θα χρησιμοποιηθεί άλλος τρόπος μέτρησης.



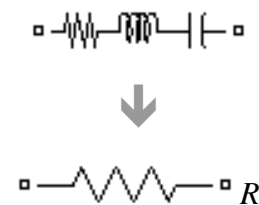
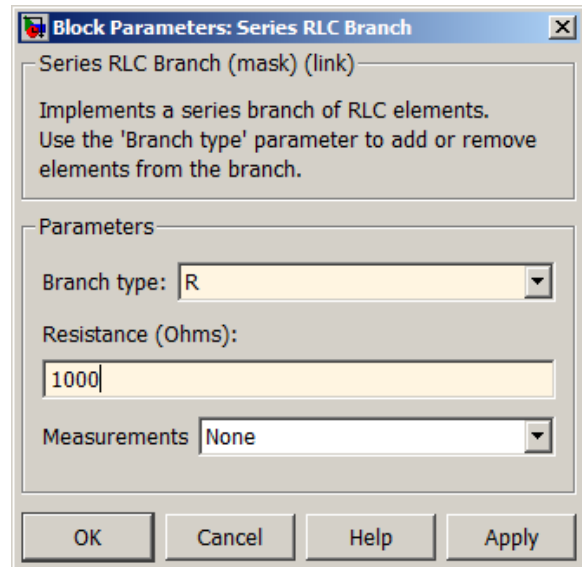
Εικόνα 1.5

Series RLC Branch: Το block θα χρησιμοποιηθεί ως φορτίο.  Στον απλό ανορθωτή η αντίσταση είναι καθαρά ωμική, οπότε με διπλό κλικ στο block και επιλογή *Mask parameters...* επιλέγουμε *R* από την λίστα *Branch type* (Εικ. 1.6). Στο πλαίσιο *Resistance R (Ohms)* δηλώνουμε έστω **1000** (Εικ. 1.7).

Η εξάλειψη των επαγωγικών-χωρητικών παραμέτρων έχει σαν αποτέλεσμα να αλλάξει και η εμφάνιση του block που από συνδυασμός *RLC* σε σειρά πήρε την μορφή ωμικής αντίστασης *R*. Ένας δεύτερος τρόπος απαλοιφής των *LC* είναι από την αρχική ρύθμιση *Branch type: RLC* να θέσουμε *Inductance L (H): 0* (μηδενική επαγωγή), και *Capacitance C (F): inf* (άπειρη χωρητικότητα).



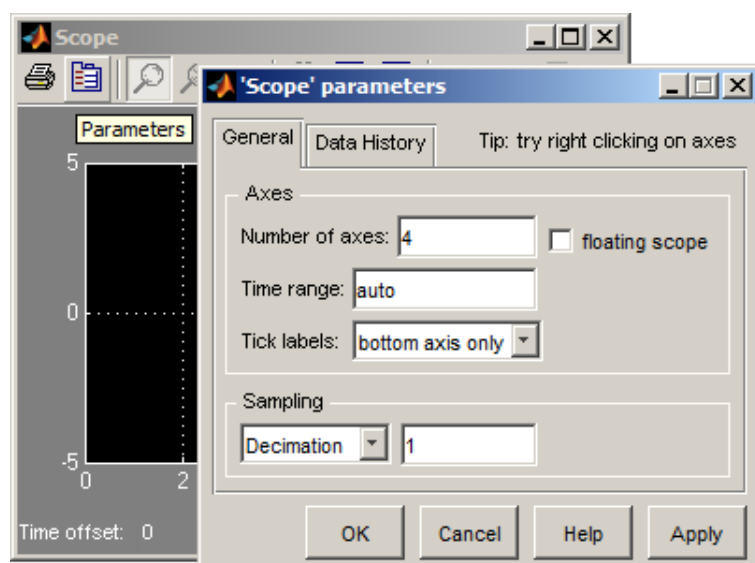
Εικ. 1.6



Εικ. 1.7

Scope: Μέσω του παλμογράφου θα παρασταθούν η τάση στα άκρα της πηγής (u_s), του φορτίου (u_o) και της διόδου (u_D), και το κοινό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα ($i_s = i_o$). Δηλαδή θα χρειαστούμε τέσσερις εισόδους. Με διπλό κλικ στο block ανοίγει το παράθυρο με τους άξονες και με κλικ στο εικονίδιο *Parameters* επιλέγουμε τον αριθμό των αξόνων (*Number of axes*) (Εικ. 1.8).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μπορούν να συνδυαστούν πάνω από ένα σήμα σε μια είσοδο, π.χ. με χρήση του block *Mux* που θα χρησιμοποιηθεί σε επόμενο κύκλωμα.



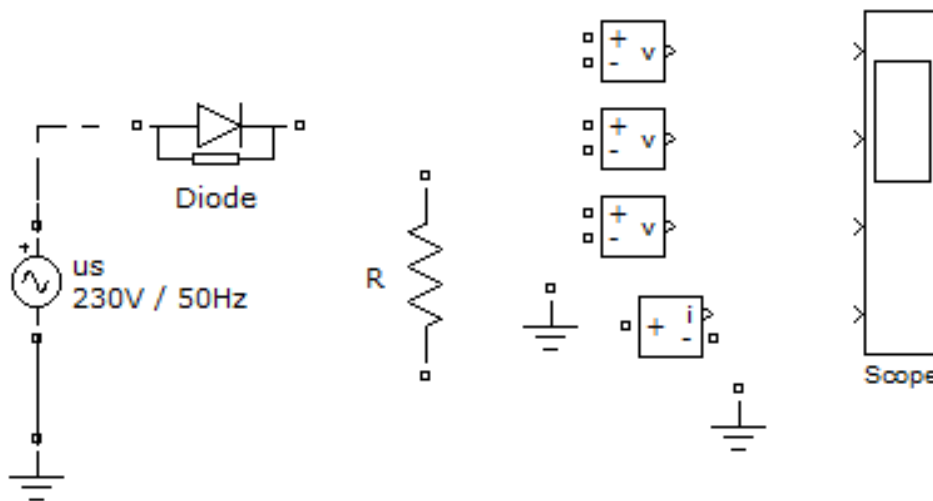
Εικ. 1.8

Στην περίπτωση συνδυασμού θα δούμε κάθε σήμα με διαφορετικό χρώμα στο ίδιο σύστημα αξόνων.

Τα *Voltage Measurement* και *Current Measurement* είναι ειδικά blocks που παρεμβάλλονται μεταξύ των εισόδων του παλμογράφου και των σημείων του κυκλώματος και είναι απαραίτητοι για τις μετρήσεις των μεγεθών. Θα χρειαστούν τρία blocks *Voltage Measurement* και ένα block *Current Measurement*. Τα blocks των τάσεων συνδέονται παράλληλα (όπως θα μετρούσαμε με ένα βολτόμετρο), ενώ το block του ρεύματος σε σειρά (όπως το αμπερόμετρο) με το κύκλωμα.

Τοποθετούνται τα σημεία γείωσης *Ground*, όπου και όσα χρειάζονται.

Γραμμή σύνδεσης: Έχοντας τοποθετήσει όλα τα blocks, σειρά έχει είναι η μεταξύ τους σύνδεση που γίνεται γενικά από την έξοδο του block *A* προς την είσοδο του block *B*. Τοποθετώντας τον δείκτη του ποντικιού στην έξοδο του block *A*, ο δείκτης του ποντικιού παίρνει την μορφή σταυρού (+). Κάνουμε κλικ και σέρνουμε ως το σημείο εισόδου του block *B* έως ο δείκτης να πάρει τη μορφή διπλού σταυρού και αφήνουμε το ποντίκι (*Είκ. 1.9*). Σχηματίζεται έτσι η γραμμή σύνδεσης μεταξύ των δύο blocks. Αν μεταξύ της σύνδεσης παρεμβάλλονται άλλα blocks τότε η σύνδεση μπορεί να γίνει τμηματικά σχηματίζοντας γωνίες.



Εικόνα 1.9

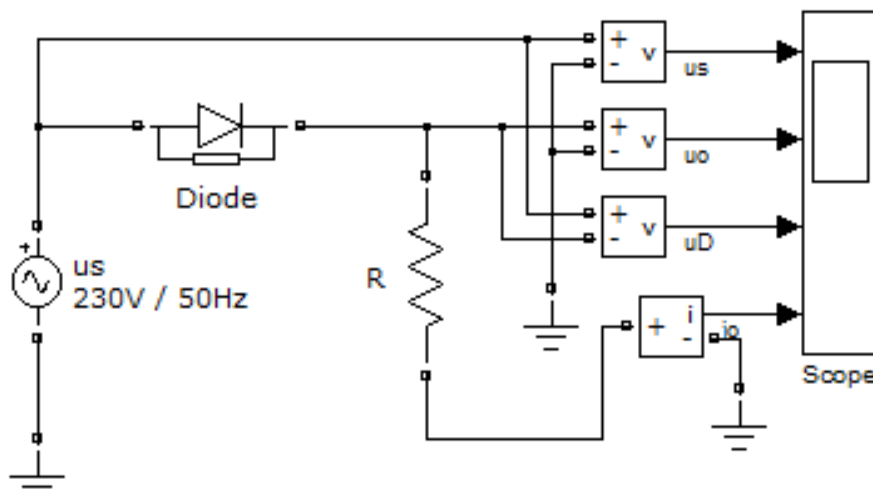
Εναλλακτικά, με κλικ πάνω στο block *A* και με το πλήκτρο *Ctrl* πατημένο κάνουμε κλικ πάνω στο block *B*. Παρατηρούμε ότι δημιουργείται αμέσως γραμμή σύνδεσης ανάμεσα στα *A* και *B*. Αυτός ο τρόπος, αν και φαίνεται πιο εύκολος και άμεσος, θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή καθώς είναι πολύ πιθανόν να συνδεθούν τα εξαρτήματα

ανάστροφα (π.χ. στην περίπτωση μιας διόδου), ή να συνδεθούν λάθος ακίδες μεταξύ τους σε περίπτωση που τα blocks έχουν πάνω από μια είσοδο/έξοδο.

Στα κομβικά σημεία η σύνδεση γίνεται το ίδιο εύκολα. Έστω π.χ. ότι η έξοδος του block A συνδέεται με την είσοδο του B και θέλουμε με το Γ να σχηματιστεί κόμβος. Με κλικ στην είσοδο (ή έξοδο) του block Γ και σύρσιμο του ποντικιού πλησιάζουμε σε σημείο της γραμμής σύνδεσης $A-B$. Όταν ο δείκτης πάρει την μορφή διπλού σταυρού αφήνουμε το πλήκτρο.

Με διπλό κλικ στις γραμμές σύνδεσης που οδηγούν στις εισόδους του παλμογράφου μπορούμε να δώσουμε ονόματα, τα οποία θα φαίνονται σε κάθε άξονα και θα ξεχωρίζουν τις γραφικές παραστάσεις.

Το κύκλωμα έχει ολοκληρωθεί και θα πρέπει να μοιάζει με το παρακάτω (Εικ. 1.10):



Εικόνα 1.10

Προσομοίωση

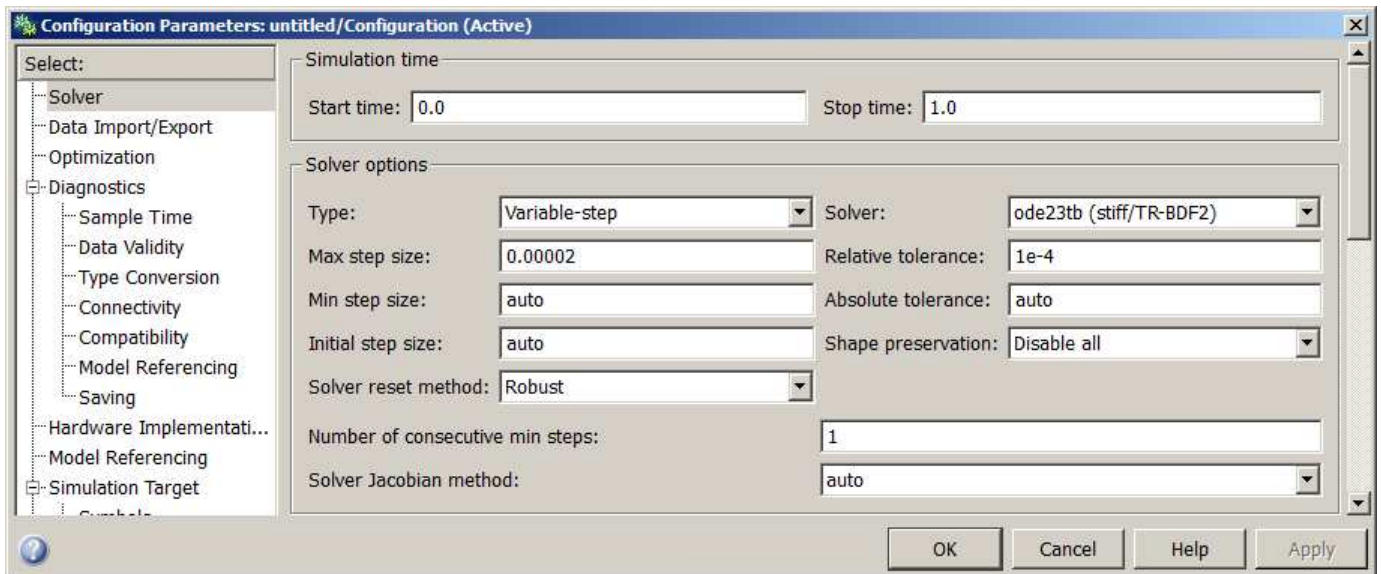
Προτού ξεκινήσει η προσομοίωση θα πρέπει να οριστούν κάποιες παράμετροι για την ορθή διένεξή της.

Θα πρέπει να εισαχθεί σε ένα σημείο το block *powergui*, η παρουσία του οποίου είναι απαραίτητη όταν έχουμε να κάνουμε με blocks της βιβλιοθήκης *SimPowerSystems*.



Από το μενού *Simulation* επιλέγουμε *Configuration Parameters...*. Θέτουμε *Stop time*: π.χ. **5/50**. Αυτό σημαίνει ότι η προσομοίωση θα διαρκέσει για τρεις περιόδους της πηγής (που έχει περίοδο 1/50 seconds). Όσο μεγαλύτερο είναι το *Stop time* τόσο

περισσότερη ώρα διαρκεί η προσομοίωση και αναλόγως χρειάζεται κάποια ώρα για ολοκληρωθεί από τον υπολογιστή. Ο χρόνος εκτέλεσης μιας προσομοίωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η πολυπλοκότητα του μοντέλου, τα βήματα του αλγόριθμου επίλυσης και η ταχύτητα του ρολογιού του υπολογιστή. Οπότε είναι πρακτικό να θέτουμε ένα όριο π.χ. μερικές περιόδους της πηγής AC. Επιλέγουμε *Solver* (αλγόριθμος επίλυσης): *ode23tb (stiff/TR-BD2)* και θέτουμε *Max step size: 0.00002*, *Relative tolerance: 1e-4*, *Solver reset method: Robust* (Εικ. 1.11).



Εικ. 1.11

Οι παραπάνω ρυθμίσεις είναι γενικές και θα πρέπει να εφαρμοστούν σε όλα τα παρακάτω κυκλώματα.

Η προσομοίωση εκτελείται από το μενού *Simulation > Start* ή με το εικονίδιο ▶ στην γραμμή εργαλείων. Μπορούμε να κάνουμε παύση (*Pause simulation* II) και συνέχιση (*Continue simulation* ▶) της προσομοίωσης ή να την σταματήσουμε εντελώς (*Stop simulation* ■) και να την ξεκινήσουμε από την αρχή, σε περίπτωση π.χ. που θέλουμε να κάνουμε μια μεταβολή στο κύκλωμα.

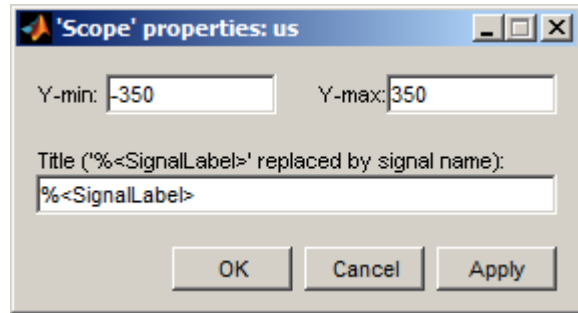
Με διπλό κλικ στον παλμογράφο εμφανίζονται σε χρονικό συσχετισμό οι γραφικές παραστάσεις των τάσεων στα άκρα της πηγής (u_s), του φορτίου (u_o), και της διόδου (u_D) σε Volts, και του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα (i_o) σε Amperes.

Με την χρήση του εικονιδίου *Autoscale* οι γραφικές παραστάσεις προσαρμόζονται αυτόματα στην οθόνη, αλλά υπάρχει η δυνατότητα να οριστούν συγκεκριμένα όρια ως προς τον κατακόρυφο άξονα Y με δεξί κλικ > *Axes properties...* μέσα στον χώρο μιας

γραφικής απεικόνισης. Π.χ. στην u_s μπορούμε να επιλέξουμε ελάχιστο σημείο του άξονα **-350** και μέγιστο **350** (Εικ. 1.12).

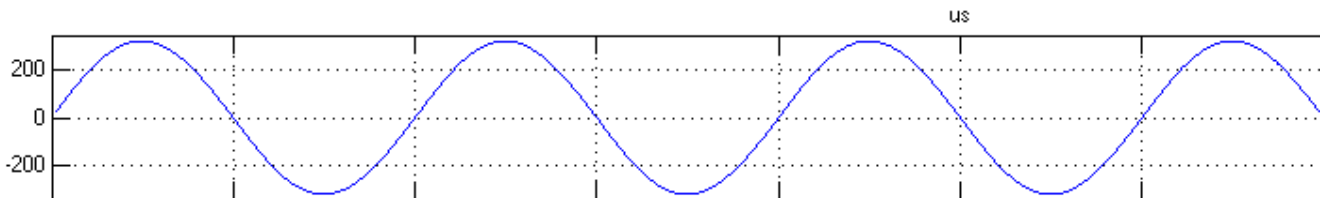
Υπάρχει επίσης η δυνατότητα zoom γενικά, ή ως προς τον κάθε άξονα χωριστά, οριζόντιο (X) ή κάθετο (Y).

Τέλος υπάρχει η επιλογή να αποθηκευτεί η χρησιμοποιούμενη ρύθμιση των αξόνων (*Save current axes settings*).

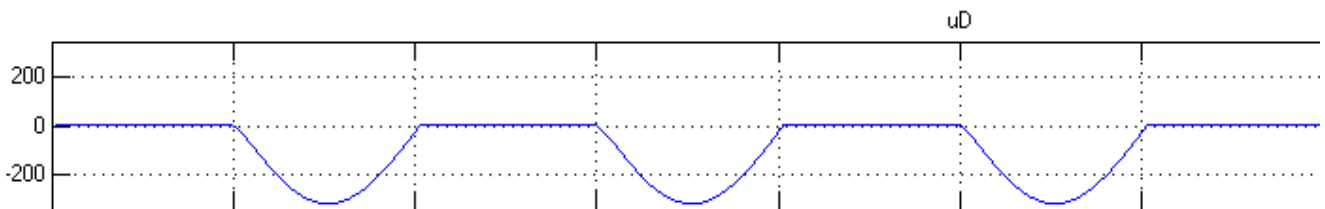


Εικ. 1.12

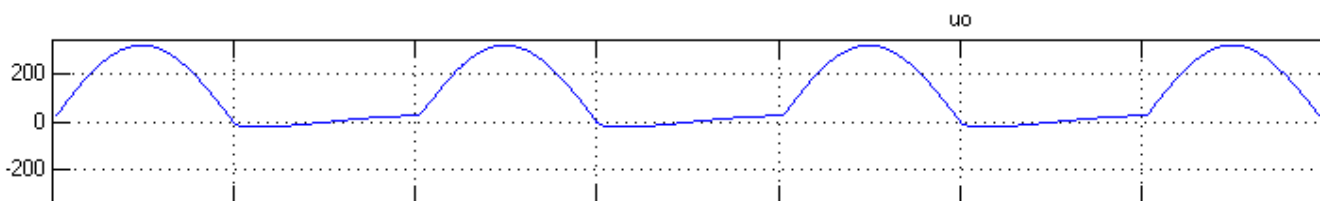
Κυματομορφές μετά το τέλος της προσομοίωσης:



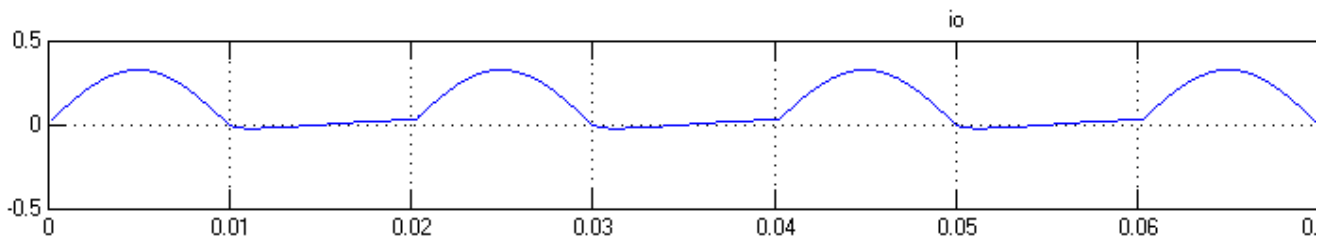
Εικ. 1.13: u_s . Η πηγή τροφοδοσίας έχει ημιτονοειδή μορφή, η τιμή κορυφής (V_{peak}) είναι $230\sqrt{2} = 325.269V$ και η περίοδος 50Hz ή 0.02s.



Εικ. 1.15: u_D . Η τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου της διόδου D . Κατά την αρνητική ημιπερίοδο η διάδος δεν άγει και η τάση στα άκρα της είναι ίση με την u_s .



Εικ. 1.14: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου R .



Εικ. 1.16: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο R .

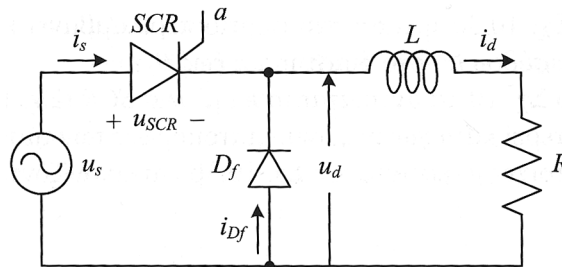
Παρατηρήσεις

Κατά την θετική ημιπερίοδο (από 0 ως 0.01 seconds) η δίοδος πολώνεται ορθά, λειτουργεί ως κλειστός διακόπτης («ON») και η τάση στα άκρα της είναι 0V, ενώ κατά την αρνητική ημιπερίοδο (0.01 – 0.02s) πολώνεται ανάστροφα, λειτουργεί ως ανοιχτός διακόπτης («OFF») και η τάση στα άκρα της είναι όση η τάση στα άκρα της πηγής.

Για κάθε χρονική στιγμή ισχύει $u_s = u_o + u_D$.

Τέλος, το ρεύμα είναι ανάλογο της τάσης εξόδου, $i_o = u_o / R$, όπου R , η ωμική αντίσταση, είναι σταθερή (1000Ω).

2. Μονοφασικός ανορθωτής με SCR, φορτίο επαγωγικό-ωμικό και δίοδο ελεύθερης ροής



Εικ. 2.1.

Ο ανορθωτής της Εικόνας 2.1 είναι ελεγχόμενος και διαφέρει από το πρώτο κύκλωμα (Εικ. 1.1) ως προς τα παρακάτω:

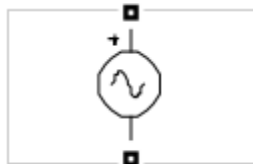
α) Αντί της διόδου χρησιμοποιείται ως διακόπτης ένας SCR (Silicon Control Rectifier – ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου). Εκτός από άνοδο και κάθοδο υπάρχει και ο ακροδέκτης ελέγχου (πύλη, *gate*) στον οποίο πρέπει να εφαρμοστεί μικρή θετική τάση για να αρχίσει να άγει ο SCR. Ελέγχοντας τον χρόνο αγωγιμότητας του SCR ελέγχουμε κατ'επέκταση και την τάση εξόδου (από 0V ως μια μέγιστη τιμή).

β) Το φορτίο δεν είναι καθαρά ωμικό αλλά έχει και επαγωγική συνιστώσα.

γ) Η δίοδος ελεύθερης ροής D_f (*freewheeling diode*) τοποθετείται παράλληλα και σε αντίθετη πολικότητα με το φορτίο RL και άγει κατά την αρνητική ημιπερίοδο, όταν ο SCR θα δεν άγει. Με την D_f επιτυγχάνεται καλύτερη εξομάλυνση του ρεύματος εξόδου και η τάση στο φορτίο διατηρείται θετική παρά την αποθηκευμένη ενέργεια της επαγωγής (η οποία, χωρίς την D_f θα μπορούσε να καταστρέψει τον SCR).

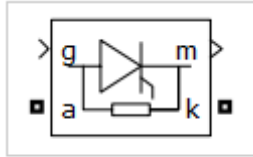
Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα

Όλα τα blocks του κυκλώματος και η θέση τους στις βιβλιοθήκες (Εικ. 2.2, 2.3).



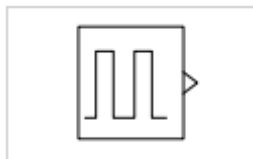
AC Voltage Source

- Εναλλασσόμενη πηγή τάσης
[*SimPowerSystems > Electrical Sources > AC Voltage Source*]



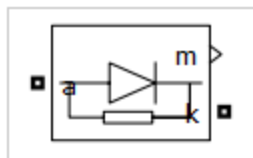
Thyristor

- Ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου (*SCR*, thyristor)
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Thyristor*]



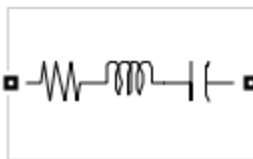
Pulse Generator

- Γεννήτρια παλμών για σκανδαλισμό του *SCR*
[*Simulink > Sources > Pulse Generator*]



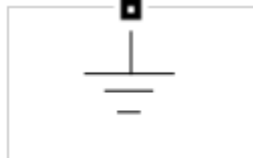
Diode

- Δίοδος ελεύθερης ροής
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Diode*]



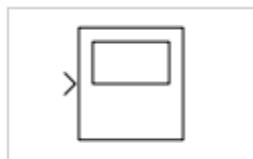
Series RLC Branch

- Ωμική αντίσταση και πηνίο
[*SimPowerSystems > Elements > Series RLC Branch*]



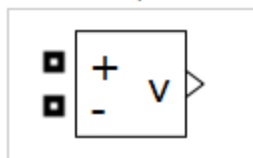
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems > Elements > Ground*]



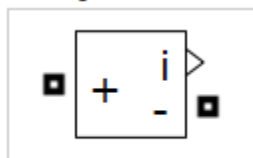
Scope

- Παλμογράφος για απεικόνιση τάσης και ρεύματος
[*Simulink > Sinks > Scope*]



Voltage Measurement

- Ειδικά blocks μεταξύ των σημείων του κυκλώματος και του παλμογράφου για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems > Measurements > Voltage Measurement*]



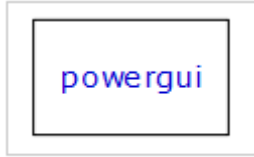
Current Measurement

- και για μέτρηση και απεικόνιση ρεύματος
[*SimPowerSystems > Measurements > Current Measurement*]

Εικ. 2.2



Mux



powergui

Εικ.2.3

- Πολυπλέκτης για συνδυασμό σημάτων στον παλμογράφο
[*Simulink > Signal Routing > Mux*]
- Το block *powergui* για την προσομοίωση
[*SimPowerSystems > powergui*]

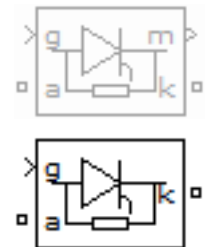
Διαδικασία σχεδίασης

Τα blocks εισάγονται από τις βιβλιοθήκες στο αρχείο με τον τρόπο που εξηγήθηκε στο πρώτο κύκλωμα. Με δεξί κλικ και *Mask parameters...* ή διπλό κλικ σε κάθε block ανοίγει το παράθυρο διαλόγου *Block Parameters*, όπου εισάγονται τιμές που καθορίζουν τις ιδιότητες κάθε block. Παρακάτω δίνονται συγκεκριμένες οδηγίες.

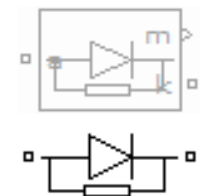
AC Voltage Source: Για την u_s διατηρούμε τις ρυθμίσεις του πρώτου κυκλώματος. Κάνουμε δεξί κλικ > *Mask parameters...* (ή διπλό κλικ) και στο παράθυρο διαλόγου *Block Parameters* θέτουμε *Peak amplitude (V):* **230*sqrt(2)** και *Frequency (Hz):* **50**.



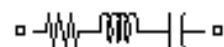
Thyristor: Το block του SCR μοιάζει οπτικά με αυτό της διόδου, εκτός από την πρόσθετη ακίδα g της πύλης. Η ακίδα m μπορεί να απαλειφθεί ξετσεκάροντας την επιλογή *Show measurement port* (στο *Mask parameters...*). Η άνοδος a θα συνδεθεί με την πηγή u_s και η κάθοδος k με το υπόλοιπο κύκλωμα. Η ακίδα g θα συνδεθεί με την γεννήτρια παλμών, όπως εξηγείται παρακάτω.



Diode: Η διάδος ελεύθερης ροής D_f θα συνδεθεί με την άνοδό της στην γείωση και η κάθοδός της με την κάθοδο του SCR. Έτσι κατά την θετική ημιπερίοδο θα είναι πολωμένη ανάστροφα (δε θα άγει) και κατά την αρνητική ημιπερίοδο θα είναι πολωμένη ορθά (θα άγει) και θα διαρρέεται από το ρεύμα εξόδου.

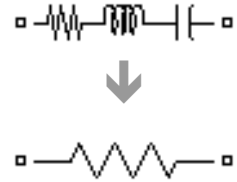


Series RLC Branch: Σειρά έχει το φορτίο, το οποίο είναι και επαγωγικό και ωμικό. Θα μπορούσαμε να εισάγουμε μόνο ένα block *Series RLC Branch* στο οποίο να δηλώναμε και ωμική και επαγωγική συμπεριφορά. Όμως θα χρησιμο-



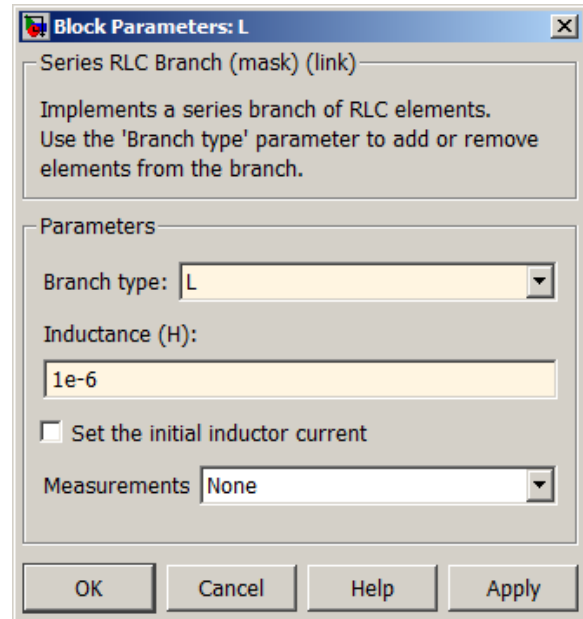
ποιήσουμε δύο blocks, το ένα θα είναι καθαρά ωμικό και το άλλο καθαρά επαγωγικό. Έτσι μπορούμε να μετρήσουμε π.χ. την τάση μόνο στα άκρα της αντίστασης R ή την τάση μόνο στα άκρα του πηνίου L .

Με διπλό κλικ στο πρώτο block *Series RLC Branch* (το οποίο θα ονομάσουμε R) επιλέγουμε από την λίστα *Branch type*: R και θέτουμε *Resistance R (Ohms)*: **100**. Το block παίρνει μορφή απλής ωμικής αντίστασης.



Για το block *Series RLC Branch* που θα είναι μόνο πηνίο και θα ονομασθεί L ορίζουμε *Branch type*: L και *Inductance L (H)*: **1e-6** (Εικ. 2.4).

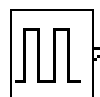
Η τιμή $1e-6$ αντιστοιχεί σε $1\mu\text{H}$ (ή 0.000001H) και είναι αρκετά χαμηλή για το πηνίο. Θα προσομοιώσουμε το κύκλωμα πρώτα γι'αυτήν την τιμή και θα εξάγουμε τα αποτελέσματα. Μετά θα αυξήσουμε αρκετά την επαγωγή και θα ξαναπροσομοιώσουμε το κύκλωμα. Από τα αποτελέσματα της δεύτερης προσομοίωσης θα φανεί η επίδραση της επαγωγής στο ρεύμα φορτίου. Κάνοντας κλικ στο *OK* παρατηρούμε ότι το block έχει πάρει τη μορφή πηνίου.



Εικ.2.4



Pulse Generator: Η γεννήτρια παλμών θα συνδεθεί στην πύλη (g) του SCR . Οι παλμοί θα πρέπει να εμφανίζονται κατά την θετική ημιπερίοδο του σήματος της πηγής, γιατί σε αυτό το διάστημα είναι πολωμένος ορθά ο SCR και άρα σε αυτό μπορεί να άγει. Σε μια περίοδο του σήματος AC από 0° ως 360° (μοίρες) η θετική ημιπερίοδος διαρκεί από 0° ως 180° και η αρνητική ημιπερίοδος από 180° ως 360° . Άρα πρέπει να επιλέξουμε μια «γωνία έναυσης» των παλμών από 0° ως 180° στην οποία θα αρχίσει να άγει ο SCR . Για γωνίες εκτός του πεδίου τιμών βρισκόμαστε στην αρνητική ημιπερίοδο (άρα ο SCR δε θα άγει ποτέ).

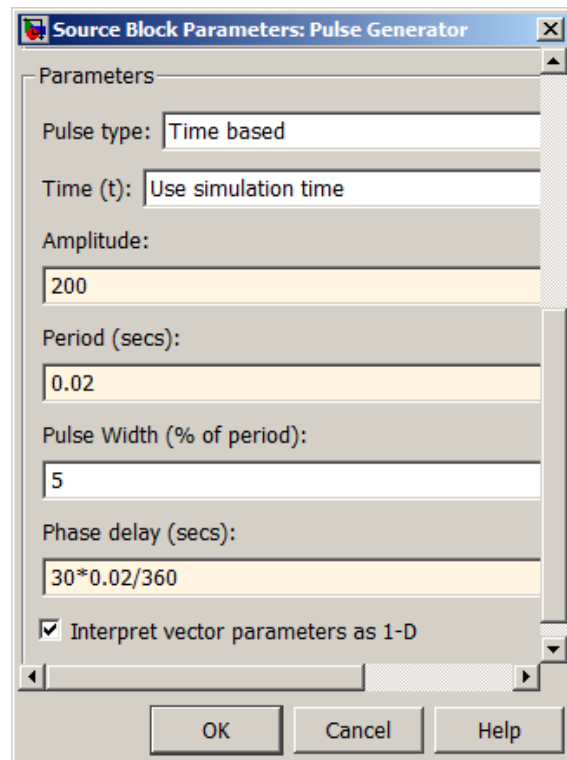


Κάνοντας διπλό κλικ στο block *Pulse Generator* (ή με δεξί κλικ > *DiscretePulseGenerator Parameters*) ανοίγει το παράθυρο με τις παραμέτρους του block (Εικ. 2.5).

Στο πλάτος (*Amplitude*) δίνουμε έστω **200** ώστε οι παλμοί να είναι ορατοί στον παλμογράφο όταν η γεννήτρια συνδεθεί στους ίδιους άξονες με την πηγή AC (η οποία ξεπερνά τα 300V). Η υψηλή τιμή δίνεται για λόγους ευκρίνειας κατά την απεικόνιση στον παλμογράφο, καθώς για τον σκανδαλισμό του *SCR* αρκεί μια πολύ χαμηλή θετική τιμή.

Στο πεδίο *Period (secs)* εισάγουμε την περίοδο σε seconds, η οποία θα είναι ίδια με την περίοδο της πηγής u_s (50Hz) άρα δηλώνουμε **1/50** ή **0.02** (σε seconds).

Το πεδίο *Pulse Width (% of period)* (εύρος παλμού) δηλώνει το ποσοστό των παλμών που είναι θετικό σε αντίθεση με το υπόλοιπο που είναι 0. Δίνουμε έστω **5**. Όταν οι τιμές πλησιάζουν πολύ κοντά στο 0 και στο 100% (0 και 100 δεν μπορούμε να εισάγουμε στο πεδίο) ο *SCR* συμπεριφέρεται ως διακόπτης σε κατάσταση OFF και ON αντιστοίχως. Επίσης, αν το εύρος παλμού είναι μεγάλο μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα με την γωνία έναυσης, αν είναι και αυτή μεγάλη και να οδηγήσουν λάθος το *SCR*.



Εικ. 2.5

Από το πεδίο *Phase delay (secs)* ρυθμίζεται σε ποιο χρονικό σημείο θα ξεκινά ο παλμός ή, με άλλα λόγια, την γωνία έναυσης. Επιλέγουμε μια γωνία μεταξύ 0° και 180° (για τον λόγο που εξηγήθηκε παραπάνω), έστω 30° . Για να μετατρέψουμε τις 30° σε μορφή seconds, όπως απαιτεί το πεδίο, δίνουμε την τιμή με την μορφή $a^*T/(360^\circ)$ όπου a η γωνία έναυσης σε μοίρες, T η περίοδος της πηγής σε seconds, 360° μια περίοδος σε μοίρες. Άρα, για παλμό με γωνία έναυσης 30° στο κύκλωμα όπου η περίοδος της πηγής είναι 0.02s (ή 50Hz), η τιμή που εισάγουμε στο πεδίο είναι **$30^*0.02/360$** (που αντιστοιχεί σε περίπου 0.0016666666666666s). Με την εισαγωγή του γενικού τύπου $a^*T/(360^\circ)$ στο πεδίο αντί απευθείας του αποτελέσματος, αποφεύγονται οι υπολογισμοί και οι

στρογγυλοποιήσεις. Η επιλεγμένη γωνία έναυσης α είναι περισσότερο διακριτή και μπορούμε να την αλλάξουμε άμεσα χωρίς πρόσθετους υπολογισμούς.

Scope: Μέσω του παλμογράφου θα παρασταθούν: α) η πηγή u_s και στους ίδιους άξονες οι παλμοί της γεννήτριας (*pulses*), β) η τάση u_{SCR} στα άκρα του SCR, γ) η τάση u_o στα άκρα του φορτίου $L-R$ (ισούται με το αντίστροφο της τάσης στα άκρα της D_f), δ) το ρεύμα i_o που διαρρέει το φορτίο. Δηλαδή τέσσερις εισοδοί. Με διπλό κλικ στο block του παλμογράφου και κλικ στο εικονίδιο *Parameters* δηλώνουμε *Number of axes*: 4.

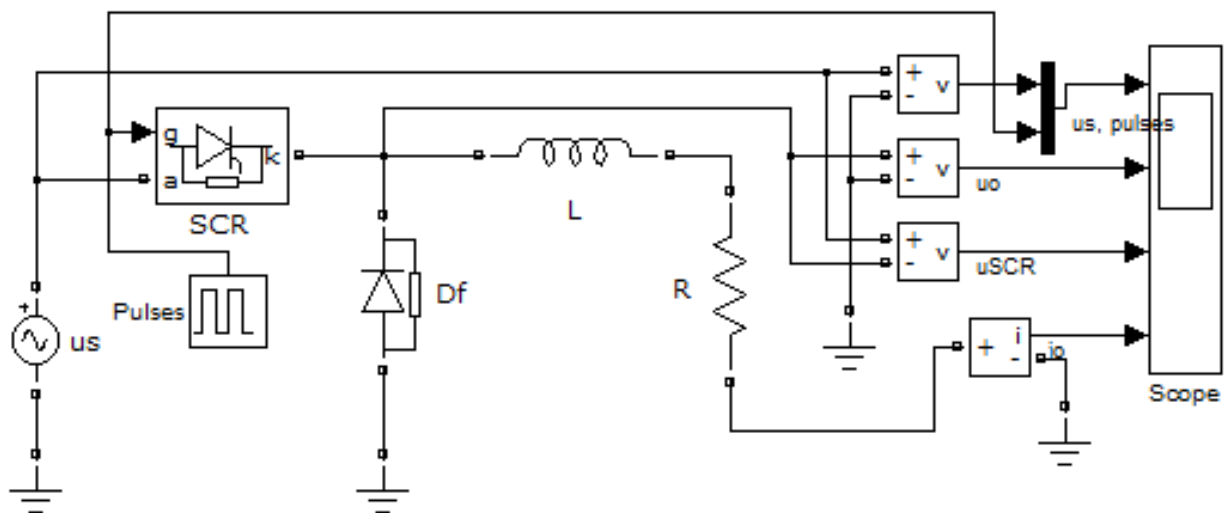
Μεταξύ των σημείων μέτρησης τάσης και ρεύματος και του παλμογράφου θα εισάγουμε τα blocks Voltage Measurement και Current Measurement.

Με χρήση του block Mux θα συνδυάσουμε το σήμα της πηγής AC και τους παλμούς της γεννήτριας σε μία είσοδο του παλμογράφου.

Τοποθετούμε τα σημεία γείωσης Ground όπου χρειάζονται, και ενώνουμε τα blocks με γραμμή σύνδεσης.

Τέλος, μπορούμε, με διπλό κλικ στις γραμμές σύνδεσης που οδηγούν στον παλμογράφο, να σημειώσουμε σε τι αντιστοιχεί η κάθε είσοδος, ώστε να είναι ορατά στις γραφικές παραστάσεις.

Το κύκλωμα θα πρέπει να μοιάζει με το παρακάτω (Εικ. 2.6):



Εικόνα 2.6

Προσομοίωση

Πριν ξεκινήσει η προσομοίωση θα πρέπει να γίνουν οι παρακάτω ρυθμίσεις, όπως στο πρώτο κύκλωμα της εργασίας: 1) Εισαγωγή του block *powergui* από την βιβλιοθήκη *SimPowerSystems* στο κύκλωμα, 2) Από το μενού *Simulation > Configuration Parameters...* ορίζουμε *Stop time*: έστω **5/50** (δηλαδή για 5 περιόδους της u_s) και *Solver*: *ode23tb (stiff/TR-BD2)*.

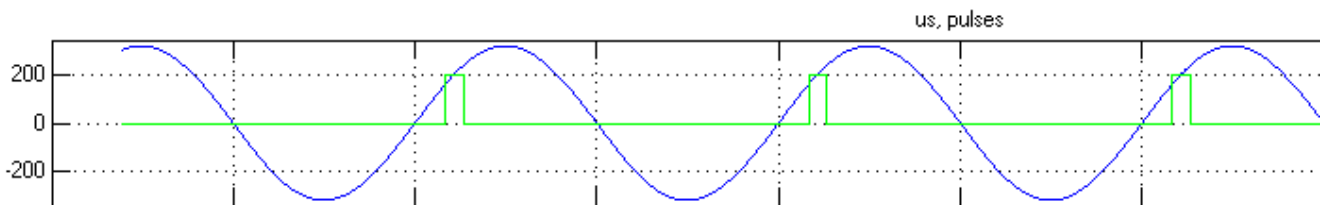
Continuous

powergui

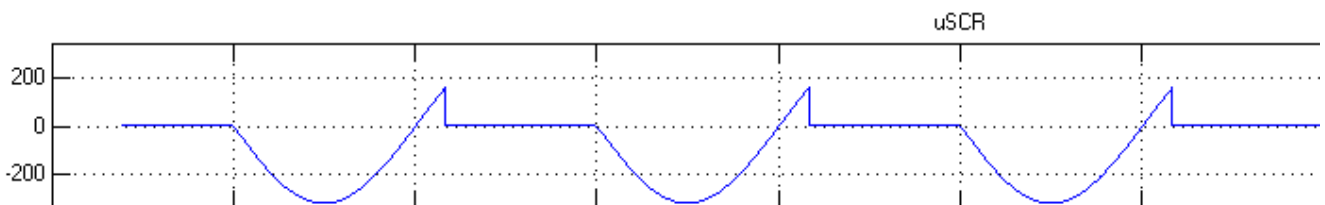
Έχοντας ολοκληρώσει τις ρυθμίσεις ξεκινάμε την προσομοίωση από το εικονίδιο ► ή το μενού *Simulation*.

Πρώτη προσομοίωση:

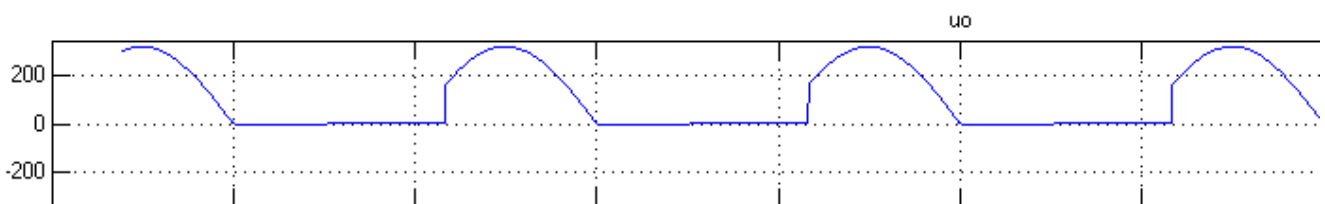
Η επαγωγή του πηνίου είναι μικρή, *Inductance L (H)*: **1e-6** ($L = 1\mu\text{H}$).



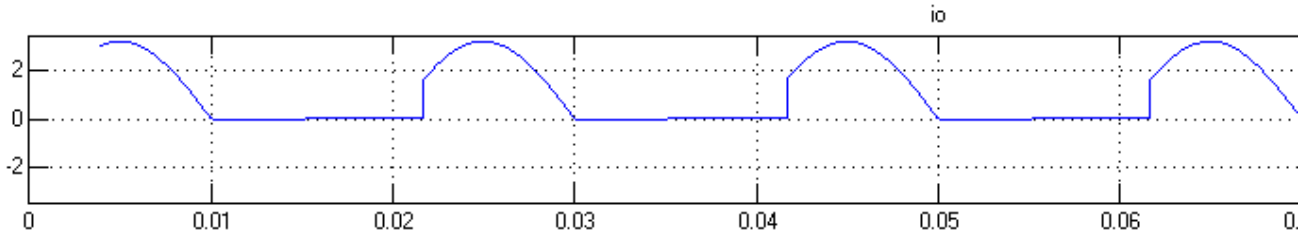
Εικ. 2.7: u_s , pulses. Η πηγή τροφοδοσίας και οι παλμοί της παλμογεννήτριας που τέμνουν την u_s στις 30° .



Εικ. 2.8: u_{SCR} . Η τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου του SCR. Στο διάστημα από $30^\circ - 180^\circ$ βρίσκεται σε κατάσταση αγωγής και η τάση στα άκρα του είναι 0V.



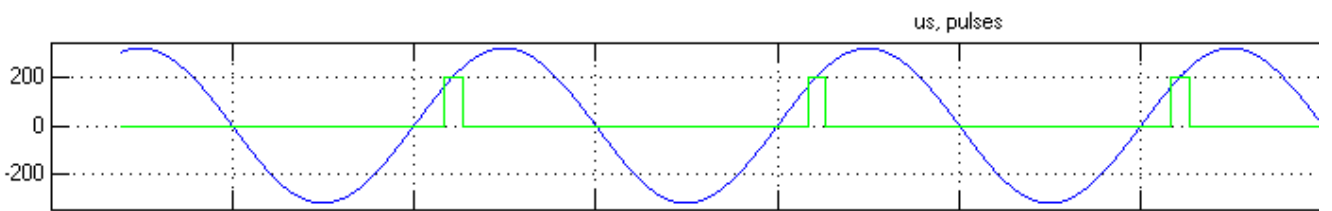
Εικ. 2.9: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου *RL*.



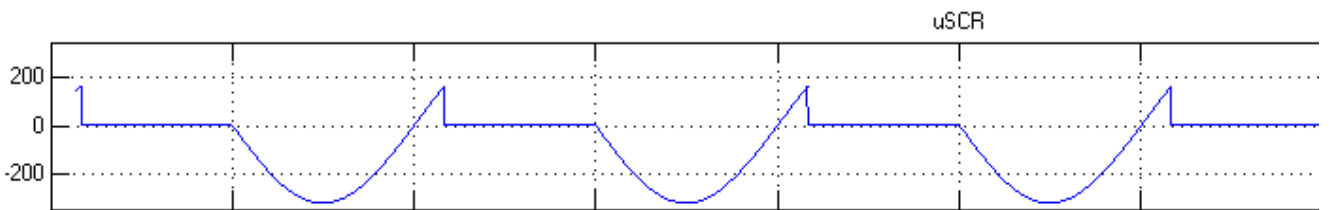
Εικ. 2.10: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RL . Λόγω της αμελητέας επαγωγής σε σχέση με το ωμικό φορτίο το ρεύμα είναι ανάλογο της u_o .

Δεύτερη προσομοίωση:

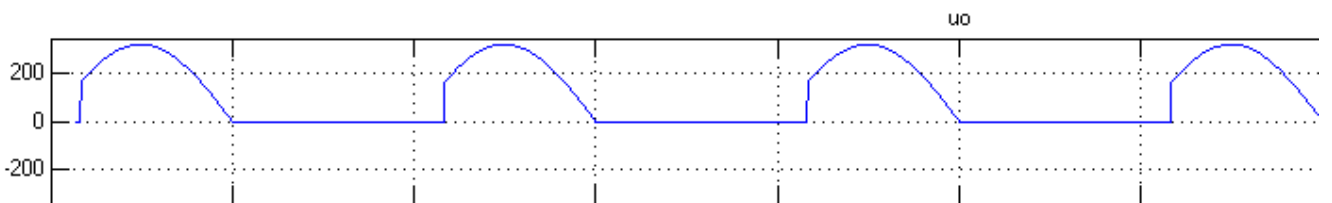
Αυξάνουμε αρκετά την επαγωγή του πηνίου L από $1e-6$ σε π.χ. **10** ($L = 10H$).



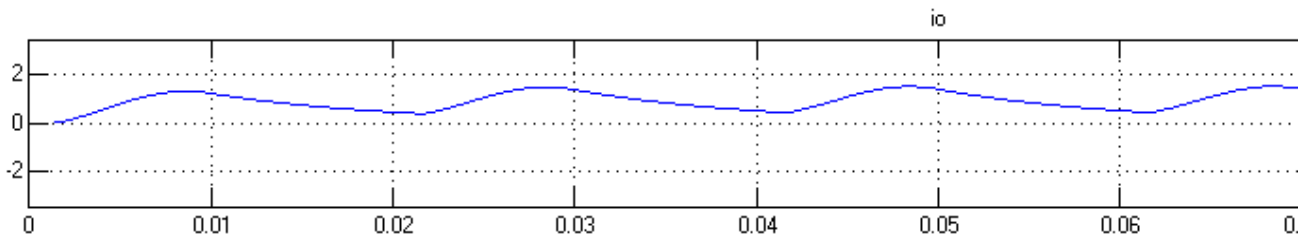
Εικ. 2.11: $u_s, pulses$. Η πηγή τροφοδοσίας και οι παλμοί της παλμογεννήτριας.



Εικ. 2.12: u_{SCR} . Η τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου του SCR .



Εικ. 2.13: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RL



Εικ. 2.14: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RL . Λόγω της μεγάλης τιμής του πηνίου το ρεύμα δε μηδενίζεται.

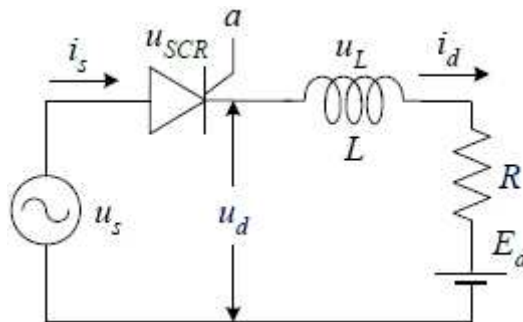
Παρατηρήσεις

Ο *SCR* αρχίζει να άγει στις 30° , όταν εμφανίζεται ο παλμός, και συνεχίζει σε όλη την υπόλοιπη θετική ημιπερίοδο ($30^\circ - 180^\circ$). Στο υπόλοιπο διάστημα, από 180° ως 360° (αρνητική ημιπερίοδος), αλλά και στο πρώτο κομμάτι της θετικής ημιπεριόδου πριν την εμφάνιση του παλμού ($0^\circ - 30^\circ$) ο *SCR* δεν άγει (OFF) (Εικ. 2.9).

Η χαμηλή επαγωγή του πηνίου L ($1\mu\text{H}$) δεν επηρεάζει σημαντικά το κύκλωμα. Οπότε η τάση u_o στα άκρα του φορτίου L - R είναι ίση με την τάση στα άκρα του ωμικού φορτίου R . Επίσης, ισχύει $u_s = u_{SCR} + u_o$.

Όταν υπάρχει ισχυρό πηνίο αποθηκεύει ενέργεια η οποία προκαλεί ροή ρεύματος και μετά τις 180° . Όσο μεγαλύτερο είναι το επαγωγικό φορτίο τόσο το νέο ρεύμα τείνει να πάρει σταθερό πλάτος για όλη την διάρκεια της περιόδου.

3. Μονοφασικός ανορθωτής με SCR, ωμικό-επαγωγικό φορτίο και συνεχή πηγή τάσης

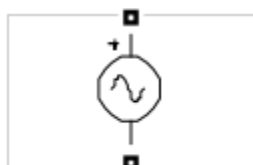


Εικ. 3.1

Ο ανορθωτής της Εικόνας 3.1 είναι ένα απλό κύκλωμα φόρτισης μπαταρίας, η οποία αποτελείται από την πηγή συνεχούς τάσης E_d με εσωτερική αντίσταση R και μια αυτεπαγωγή L σε συνδεσμολογία σειράς.

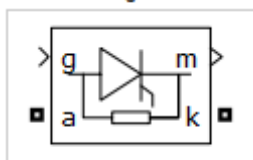
Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα

Τα απαραίτητα blocks και η θέση τους στις βιβλιοθήκες (Εικ. 3.2, 3.3).



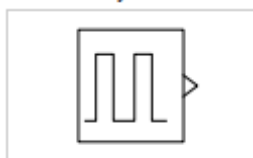
AC Voltage Source

- Εναλλασσόμενη πηγή τάσης
[*SimPowerSystems > Electrical Sources > AC Voltage Source*]



Thyristor

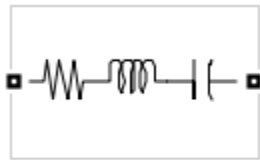
- Ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου (SCR, thyristor)
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Thyristor*]



Pulse Generator

- Γεννήτρια παλμών για σκανδαλισμό του SCR
[*Simulink > Sources > Pulse Generator*]

Εικ. 3.2



Series RLC Branch

- Ωμική αντίσταση και πηνίο
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Series RLC Branch*]



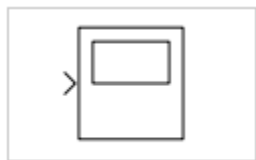
DC Voltage Source

- Συνεχής πηγή τάσης
[*SimPowerSystems* > *Electrical Sources* > *DC Voltage Source*]



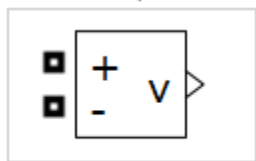
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Ground*]



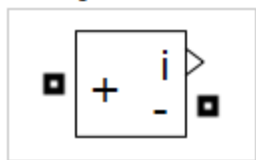
Scope

- Παλμογράφος για απεικόνιση τάσης και ρεύματος
[*Simulink* > *Sinks* > *Scope*]



Voltage Measurement

- Ειδικά blocks μεταξύ των σημείων του κυκλώματος και του παλμογράφου για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems* > *Measurements* > *Voltage Measurement*]
και για μέτρηση και απεικόνιση ρεύματος



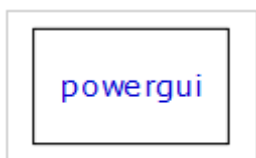
Current Measurement

- [*SimPowerSystems* > *Measurements* > *Current Measurement*]



Mux

- Πολυπλέκτης, για συνδυασμό σημάτων στον παλμογράφο
[*Simulink* > *Signal Routing* > *Mux*]




powergui

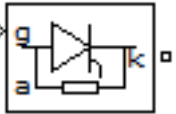
- Το block *powergui* για την προσομοίωση
[*SimPowerSystems* > *powergui*]


Εικ. 3.3

Διαδικασία σχεδίασης

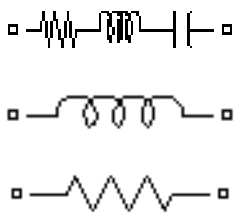
Τα blocks εισάγονται από τις θέσεις τους στις βιβλιοθήκες στο αρχείο με τους τρόπους που εξηγήθηκαν στα πρώτα κυκλώματα. Με δεξί κλικ και *Mask parameters...* ή διπλό κλικ σε κάθε block ανοίγει το παράθυρο διαλόγου *Block Parameters*, όπου εισάγονται τιμές που καθορίζουν τις ιδιότητες κάθε block. Παρακάτω δίνονται συγκεκριμένες οδηγίες.


AC Voltage Source: Ρυθμίζουμε την u_s κάνοντας δεξί κλικ > *Mask parameters...* και στο παράθυρο διαλόγου *Block Parameters* θέτουμε *Peak amplitude (V)*: **230*sqrt(2)** και *Frequency (Hz)*: **50**. 

Thyristor: Η άνοδος a του SCR θα συνδεθεί με την πηγή u_s και η κάθοδος k με το υπόλοιπο κύκλωμα. Η πύλη g θα συνδεθεί με την γεννήτρια παλμών. Η ακίδα m μπορεί να απαλειφθεί ξετσεκάροντας την επιλογή *Show measurement port* (στο *Mask parameters...*). 

Pulse Generator: Η γεννήτρια παλμών θα συνδεθεί στην πύλη (g) του SCR. Οι παλμοί θα πρέπει να εμφανίζονται κατά την θετική ημιπερίοδο της πηγής, γιατί σε αυτό το διάστημα ο SCR άγει. 

Με διπλό κλικ στο block (ή με δεξί κλικ > *DiscretePulseGenerator Parameters*) ανοίγει το παράθυρο με τις παραμέτρους. Στο πλάτος (*Amplitude*) δίνουμε π.χ. **300** (για λόγους ευκρίνειας στον παλμογράφο). Η περίοδος θα είναι ίδια με την περίοδο της πηγής AC, δηλαδή *Period (secs)*: **0.02**. Θέτουμε εύρος παλμών (*Pulse Width (% of period)*) έστω **1**. Στο πεδίο καθυστέρησης φάσης (*Phase delay (secs)*) εισάγουμε την γωνία έναυσης α από την οποία και μετά ο SCR ξεκινά να άγει. Η α θα πρέπει να ανήκει στην θετική ημιπερίοδο με εύρος τιμών από 0° ως 180° . Επιλέγεται $\alpha = 60^\circ$ και για να μετατρέψουμε τις μοίρες σε seconds εισάγεται ως **60*0.02/360**.

Για το πρώτο block Series RLC Branch (πηνίο L) ορίζουμε *Branch type*: L και *Inductance L (H)* έστω **0.1**, που αντιστοιχεί σε 0.1H. Για το δεύτερο block (R) ορίζουμε *Branch type*: R και *Resistance R (Ohms)*: έστω **10**. 

Η συνεχής πηγή τάσης E_d (DC Voltage Source) θα συνδεθεί από το θετικό άκρο της με την αντίσταση R και από το αρνητικό της άκρο με γείωση. Με διπλό κλικ στο block ορίζουμε πλάτος *Amplitude (V)*: έστω **150** (Εικ. 3.4). 

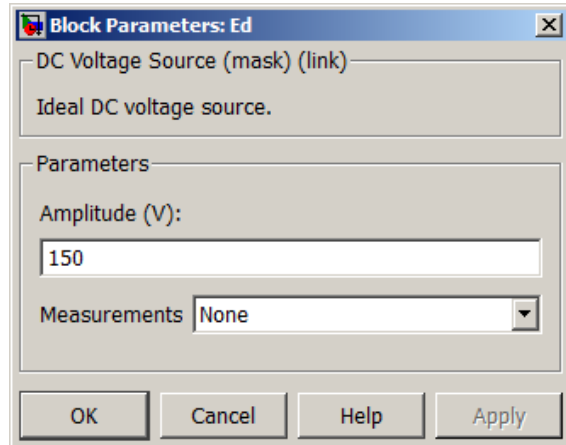
Τοποθετούνται σημεία γείωσης (*Ground*) όπου απαιτούνται. Συνδέουμε τα blocks μεταξύ τους και δημιουργούμε το κύκλωμα.

Για την απεικόνιση των γραφικών παραστάσεων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δύο παλμογράφους (*Scope*) και να μοιράσουμε τις εισόδους ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο ευδιάκριτα στην οθόνη του υπολογιστή.

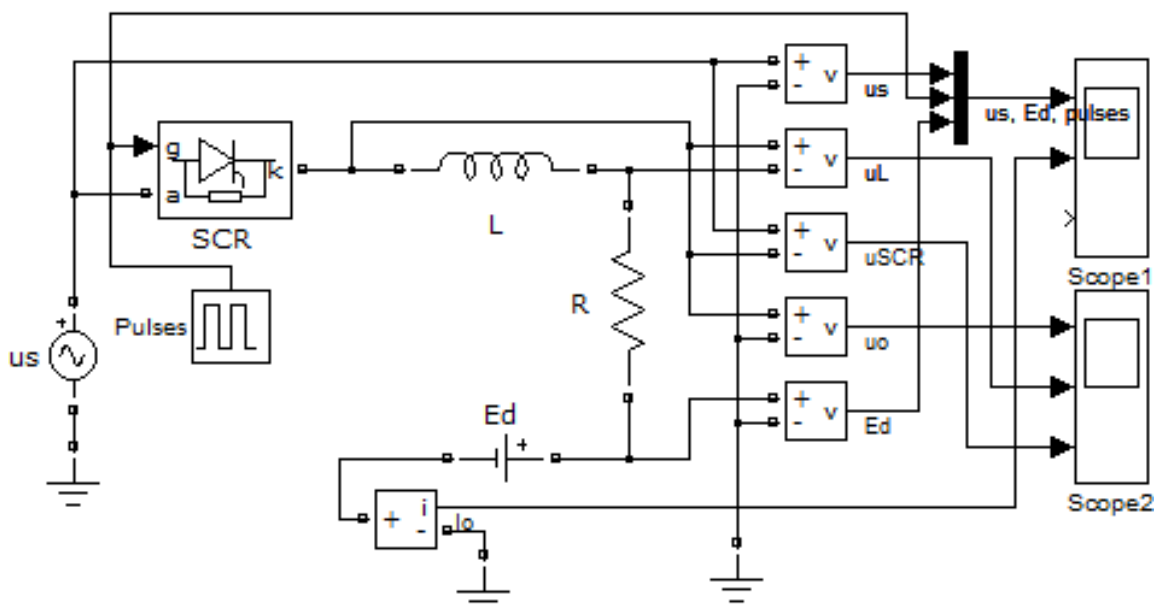
Κάνοντας διπλό κλικ στο block του παλμογράφου και πατώντας το εικονίδιο *Parameters* εισάγουμε το πλήθος των σημάτων που θέλουμε ανά παλμογράφο (*Number of axes*). Τα μεγέθη που θα αναπαρασταθούν είναι: η πηγή AC (u_s), η πηγή DC (E_d), οι παλμοί της παλμογεννήτριας (*pulses*), το ρεύμα εξόδου (i_o), η τάση εξόδου (u_o), η τάση στα άκρα του πηνίου (u_L), και η τάση στα άκρα του SCR (u_{SCR}).

Με χρήση του block *Mux* θα συνδυάσουμε u_s , V_{dc} , *pulses* σε μία είσοδο του παλμογράφου.

Δεν ξεχνάμε ανάμεσα στις εισόδους του παλμογράφου και τα σημεία προς μέτρηση να παρεμβάλλουμε τα blocks *Voltage Measurement* για τις τάσεις και *Current Measurement* για το ρεύμα.



Εικ. 3.4



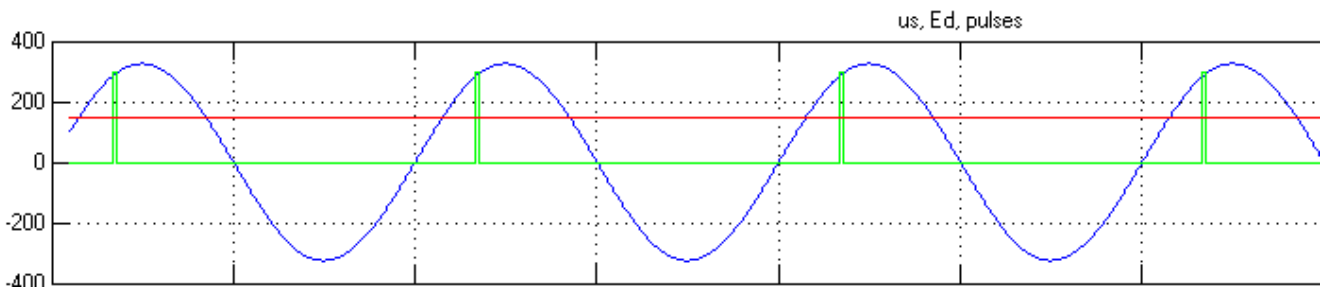
Εικόνα 3.5

Προσομοίωση

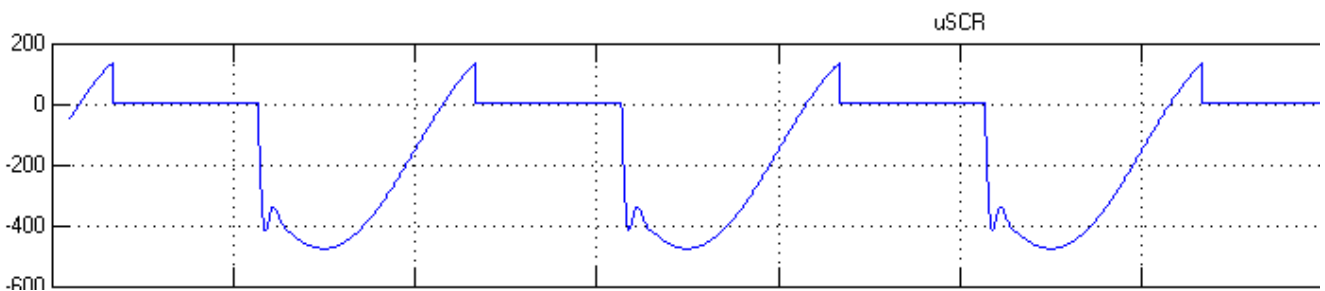
Ρυθμίζονται οι παράμετροι της προσομοίωσης: 1) Εισαγωγή του block *powergui* από την βιβλιοθήκη *SimPowerSystems* στο κύκλωμα, 2) Από το μενού *Simulation > Configuration Parameters...* ορίζουμε *Stop time: 1.0*, *Solver: ode23tb (stiff/TR-BD2)*, *Max step size: 0.00002*, *Relative tolerance: 1e-4* και *Solver reset method: Robust*.



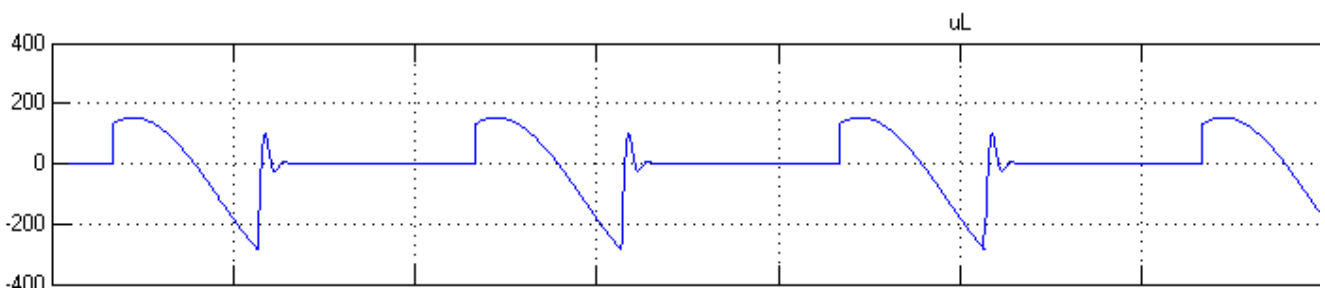
Προσομοιώνουμε το κύκλωμα από το εικονίδιο ▶ ή από το μενού *Simulation*.



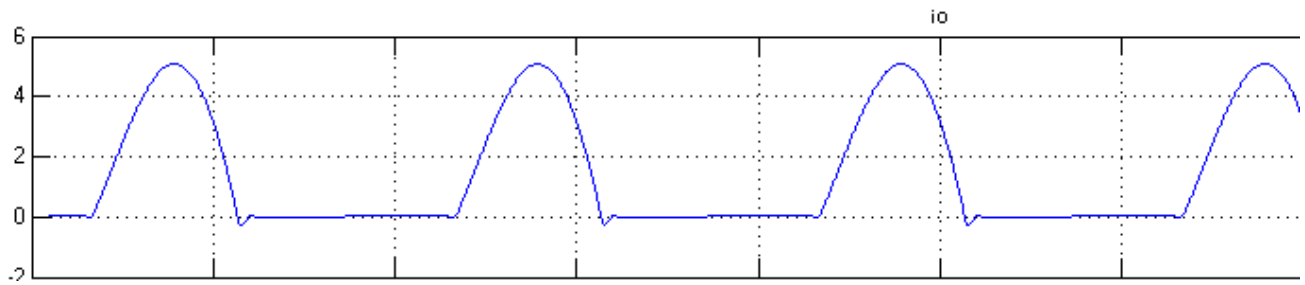
Εικ. 3.6: u_s , E_d , pulses. Η πηγή τροφοδοσίας AC, η σταθερή πηγή DC (150V) και οι παλμοί.



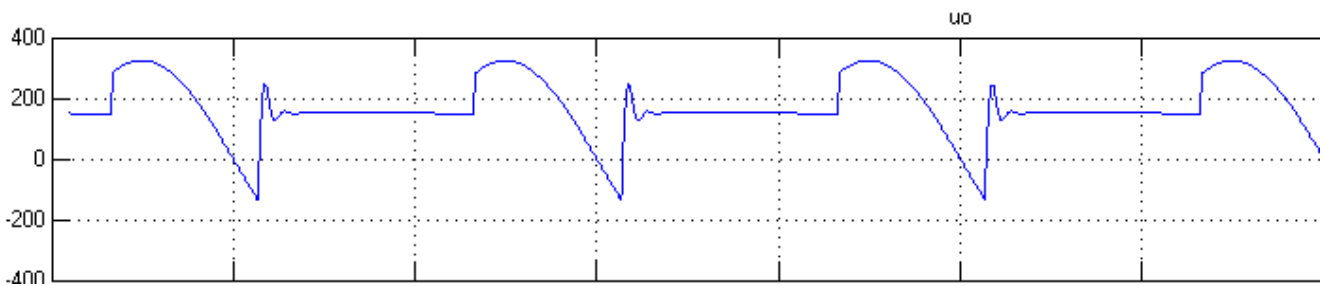
Εικ. 3.7: u_{SCR} . Η τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου του SCR.



Εικ. 3.8: u_L . Η τάση στα άκρα του πηνίου L .



Εικ. 3.9: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο.



Εικ. 3.10: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RL και της πηγής E_d .

Ισούται με το άθροισμα των τάσεων u_L , u_R , E_d .

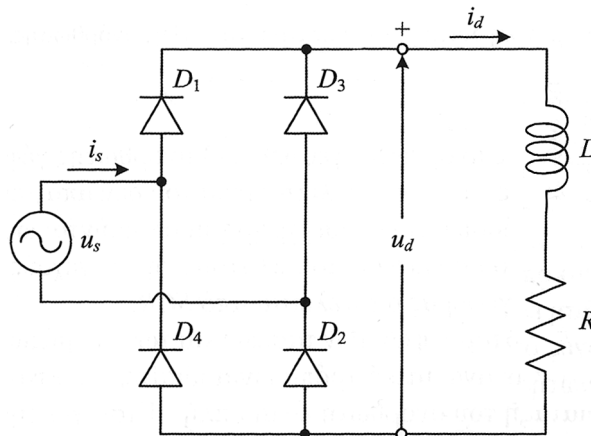
Παρατηρήσεις

Όταν η γωνία έναυσης είναι μικρή, ο SCR άγει για περισσότερο χρόνο στην θετική ημιπερίοδο και η τάση εξόδου μεγαλώνει. Αντιθέτως, αν αυξήσουμε την γωνία έναυσης του SCR η τάση εξόδου μικραίνει.

Το ρεύμα εξόδου i_o (Εικ. 3.9) παίρνει την μέγιστη τιμή του όταν η πηγή u_s γίνεται ίση με την E_d (Εικ. 3.6).

Η τάση u_L στα άκρα του πηνίου είναι θετική όσο άγει ο SCR (το πηνίο φορτίζεται), ενώ στην αρνητική ημιπερίοδο που ο SCR δεν άγει το πηνίο τροφοδοτεί το κύκλωμα και το ρεύμα εξόδου μειώνεται. Η μέση τάση του πηνίου (u_L) στο διάστημα μιας περιόδου είναι 0.

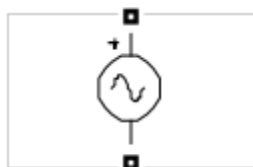
4. Μονοφασικός ανορθωτής γέφυρας με διόδους και φορτίο επαγωγικό-ωμικό



Εικ. 4.1

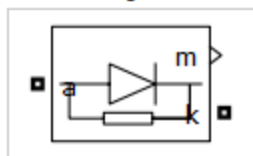
Κατά την θετική ημιπερίοδο της πηγής άγουν οι διόδοι D_1 και D_2 , ενώ οι διόδοι D_3 και D_4 είναι ανάστροφα πολωμένες και δεν άγουν. Η τάση εξόδου είναι $u_d = u_s$ και το ρεύμα εξόδου ισούται με το ρεύμα εισόδου, $i_d = i_s$. Στην αρνητική ημιπερίοδο άγουν οι D_3 , D_4 ενώ οι D_1 , D_2 πολώνονται ανάστροφα. Το ρεύμα σε αυτήν την περίπτωση είναι $i_d = -i_s$ και η τάση $u_d = -u_s$.

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα



AC Voltage Source

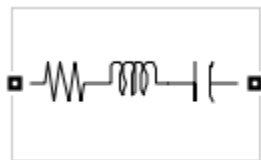
- Εναλλασσόμενη πηγή τάσης
[*SimPowerSystems > Electrical Sources > AC Voltage Source*]



Diode

Εικ. 4.2

- Τέσσερις διόδοι για την συνδεσμολογία γέφυρας
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Diode*]



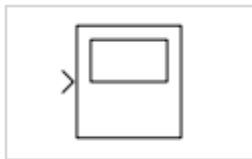
Series RLC Branch

- Ωμική αντίσταση και πηνίο
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Series RLC Branch*]



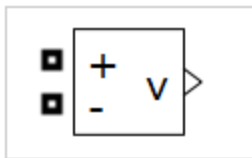
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Ground*]



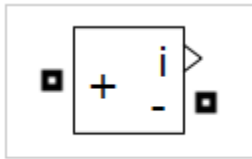
Scope

- Παλμογράφος για απεικόνιση γραφικών παραστάσεων τάσης και ρεύματος [*Simulink* > *Sinks* > *Scope*]



Voltage Measurement

- Ειδικά blocks μεταξύ των σημείων του κυκλώματος και του παλμογράφου για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems* > *Measurements* > *Voltage Measurement*]
και για μέτρηση και απεικόνιση ρεύματος



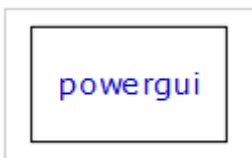
Current Measurement

- [*SimPowerSystems* > *Measurements* > *Current Measurement*]



Mux

- Πολυπλέκτες για να συνδυάσουμε πάνω από ένα σήμα σε ένα σύστημα αξόνων στον παλμογράφο
[*Simulink* > *Signal Routing* > *Mux*]



powergui

- Ειδικό block που απαιτείται για την προσομοίωση όταν χρησιμοποιούνται blocks της βιβλιοθήκης *SimPowerSystems*.
[*SimPowerSystems* > *powergui*]

Εικ. 4.3

Διαδικασία σχεδίασης

Εισάγουμε τα blocks όπως στο πρώτο κύκλωμα και δημιουργούμε το κύκλωμα με την ίδια λογική. Παρακάτω δίνονται οδηγίες για συγκεκριμένα blocks.

Για την πηγή u_s (*AC Voltage Source*) διατηρούμε τις ρυθμίσεις του πρώτου κυκλώματος. Δεξί κλικ > *Mask parameters...* και στο παράθυρο διαλόγου *Block*



Parameters θέτουμε *Peak amplitude (V)*: $230 \cdot \sqrt{2}$ και *Frequency (Hz)*: **50**.

Οι τέσσερις διόδους (Diode) θα μπουν σε σχηματισμό γέφυρας.

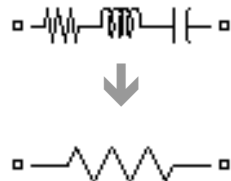


Υπάρχει ένας εύκολος και γρήγορος τρόπος να αντιγράψουμε

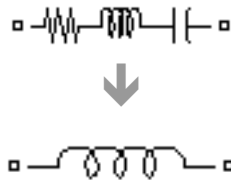
blocks που έχουν ήδη εισαχθεί στο αρχείο. Σε ένα επιλεγμένο block (ή μια ομάδα από blocks που έχουν επιλεγεί) και έχοντας πατημένο το πλήκτρο *Control (Ctrl)* του πληκτρολογίου κάνουμε κλικ στο block (ή στα blocks) χωρίς να αφήσουμε το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού. Στον δείκτη του ποντικιού προστίθεται ένας μικρός σταυρός. Με πατημένο το *Ctrl* και το πλήκτρο του ποντικιού σέρνουμε σε ένα κενό σημείο του αρχείου. Σε εκείνο το σημείο δημιουργείται ένα αντίγραφο της επιλογής μας με ελαφρώς διαφοροποιημένο όνομα, το οποίο μεταβάλλουμε ανάλογα με τις ανάγκες του κυκλώματος.

Για τις διόδους θα πρέπει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με το κύκλωμα της Εικόνας 4.1, κατά την θετική ημιπερίοδο του σήματος της πηγής άγουν οι διόδους D_1, D_2 και κατά την αρνητική ημιπερίοδο οι D_3, D_4 . Επομένως οι D_1, D_2 διαρρέονται από κοινό ρεύμα (i_{D12}) και οι τάσεις στα άκρα τους είναι ίσες ($u_{D1} = u_{D2}$). Ομοίως ισχύει για τις D_3, D_4 ($u_{D3} = u_{D4}, i_{D34}$).

Series RLC Branch: Θα χρησιμοποιήσουμε δύο φορές αυτό το block. Το πρώτο block (R) θα είναι η ωμική αντίσταση με παραμέτρους όπως και στο πρώτο κύκλωμα, *Branch type: R* και *Resistance R (Ohms)*: **1000**, δηλαδή 1000Ω.

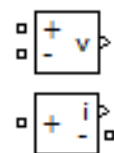


Το δεύτερο block (L) θα αφορά μόνο το πηνίο με παραμέτρους: *Branch type: L* και *Inductance L (H)*: **100e-6**. Η τιμή 100e-6 αντιστοιχεί σε 100μH, η οποία είναι αρκετά χαμηλή, κατά την δεύτερη προσομοίωση όμως θα την αυξήσουμε.



Scope: Μέσω του παλμογράφου θα παρασταθούν οι τάσεις στα άκρα της πηγής (u_s), του φορτίου RL (u_o), των διόδων D_1 και D_3 (u_{D1}, u_{D3}), τα ρεύματα που διαρρέουν τις D_1-D_2 και D_3-D_4 (i_{D12}, i_{D34}) και το ρεύμα που διαρρέει το φορτίο RL (i_o). Συνολικά χρειάζονται πέντε άξονες. Για καθαρά τεχνικούς λόγους (μέγεθος οθόνης του υπολογιστή) θα χρησιμοποιηθούν δύο παλμογράφοι ώστε να είναι πιο ευκρινή τα αποτελέσματα.

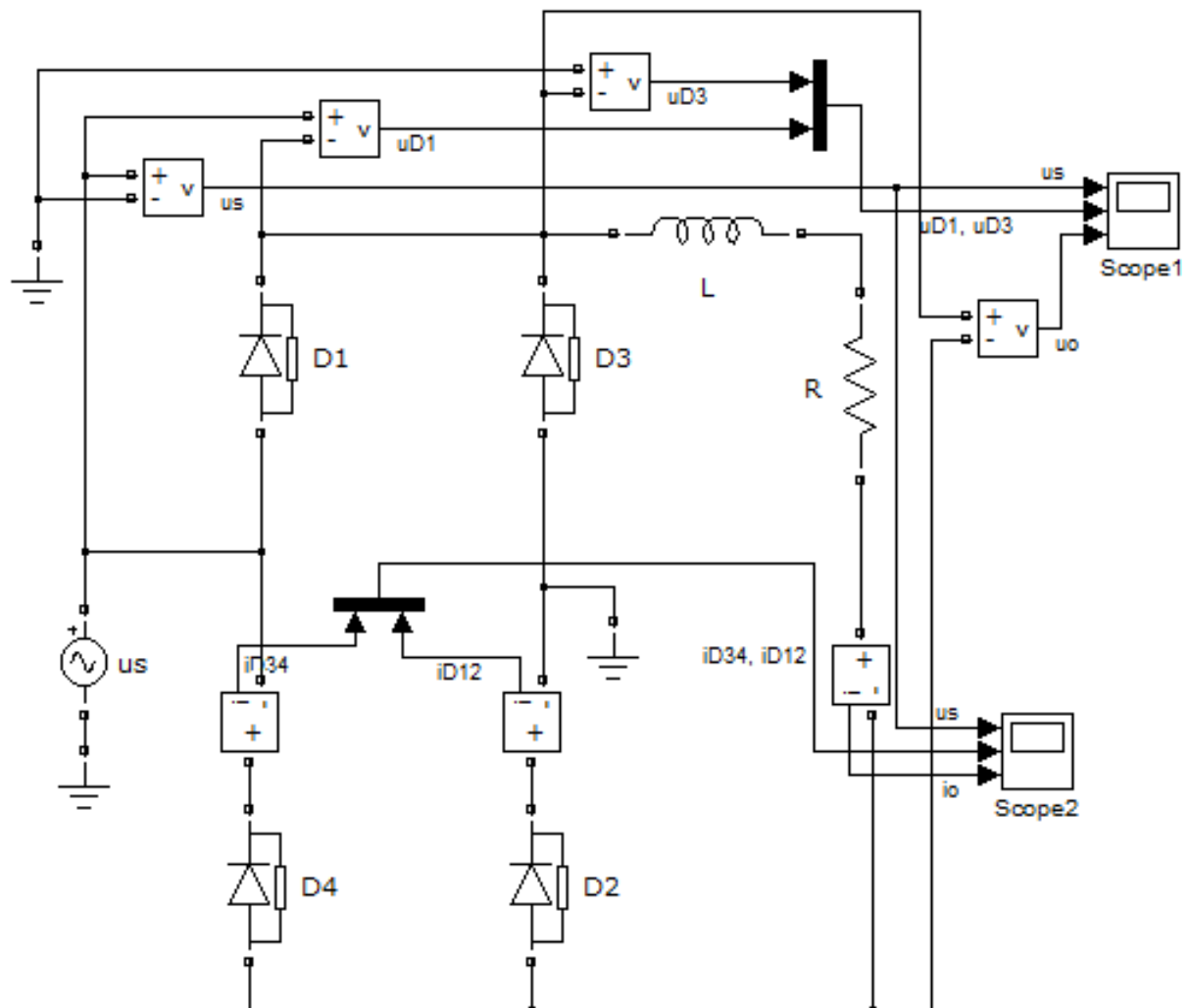
Οι μετρητές τάσης (Voltage Measurement) και ρεύματος (Current Measurement) θα παρεμβάλλονται μεταξύ των σημείων μέτρησης και των εισόδων του παλμογράφου.



Τοποθετούνται γειώσεις (Ground) όπου απαιτούνται.



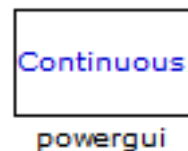
Μιχ: Οι πολυπλέκτες θα χρησιμοποιηθούν για να συνδυαστούν δύο σήματα σε ένα σύστημα αξόνων, όπως φαίνεται από το τελικό κύκλωμα παρακάτω (Εικ. 4.4):



Εικ. 4.4

Προσομοίωση

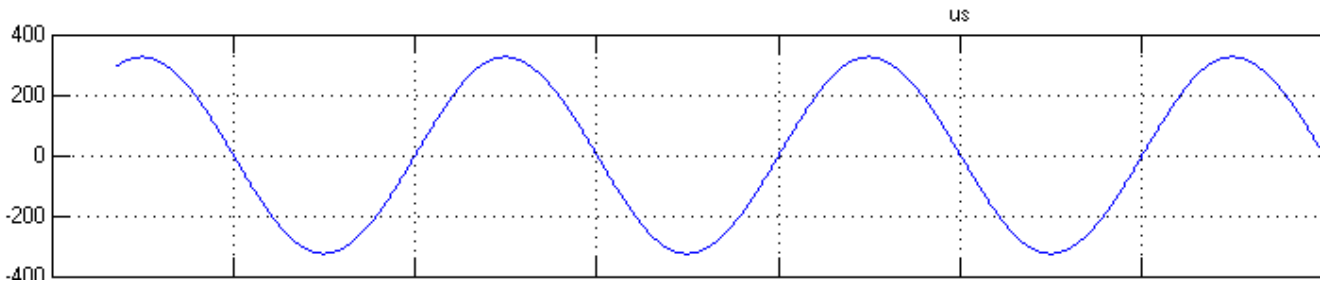
Πριν την προσομοίωση γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις όπως περιγράφονται στο πρώτο κύκλωμα της εργασίας (block *powergui* και μενού *Simulation > Configuration Parameters...*)



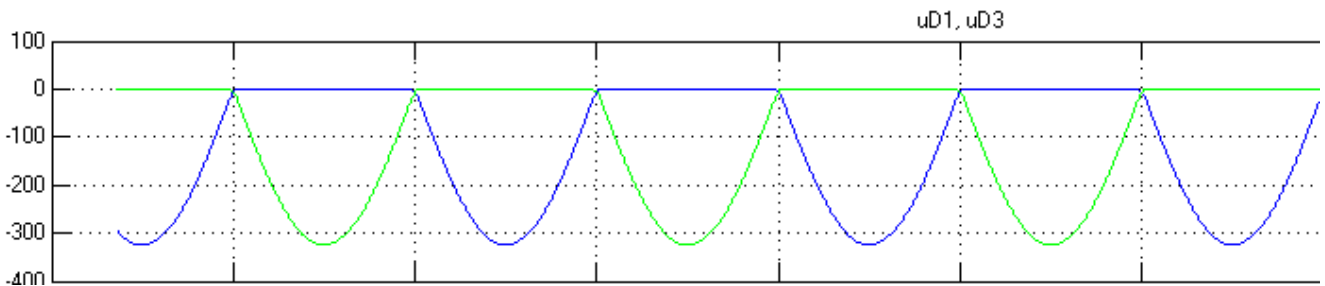
Εκτελείται η προσομοίωση και με διπλό κλικ στον παλμογράφο εμφανίζονται σε χρονικό συσχετισμό οι γραφικές παραστάσεις. Στην πρώτη προσομοίωση το πηνίο έχει την τιμή που ορίσαμε, (**100e-06**, δηλαδή 100μH) και στην δεύτερη προσομοίωση αυξάνουμε την τιμή του (π.χ. **2**, δηλαδή 2H).

Πρώτη προσομοίωση:

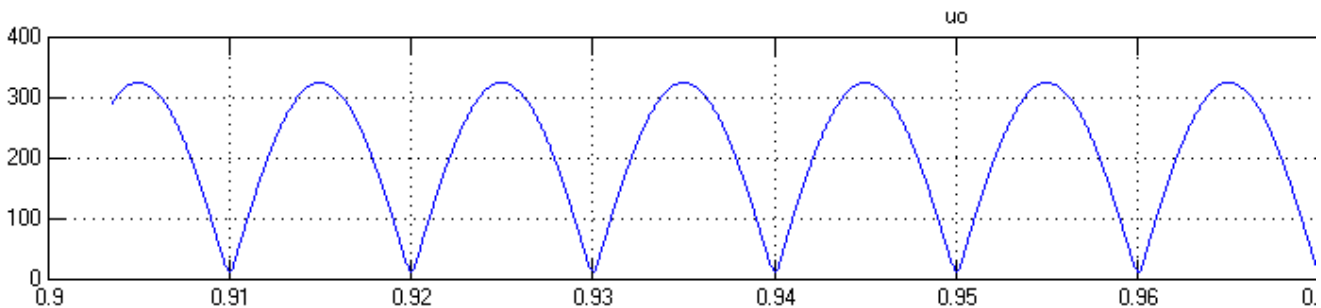
Η επαγωγή του πηνίου είναι μικρή ($100\mu\text{H}$).



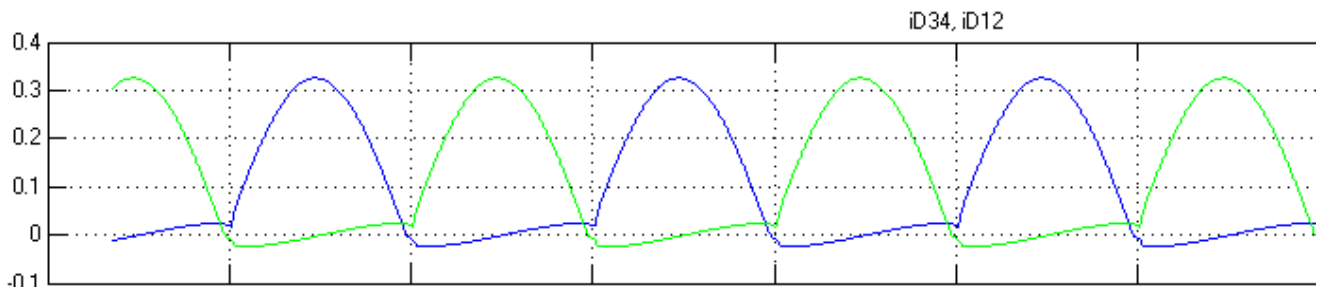
Εικ. 4.5: u_s . Η πηγή τροφοδοσίας AC με περίοδο 0.02s και τιμές κορυφής $\pm 230\sqrt{2}$.



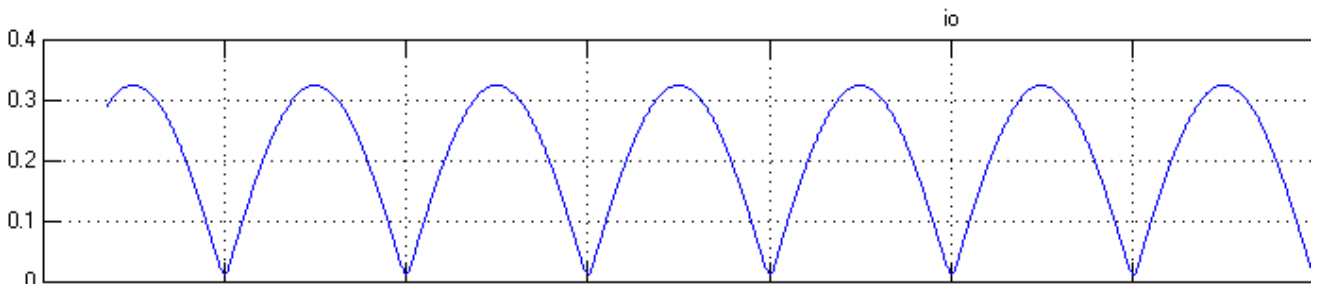
Εικ. 4.6: u_{D1} , u_{D3} . οι τάσεις στις διόδους D_1 , D_3 . Η πράσινη (ανοιχτόχρωμη) κυματομορφή αντιστοιχεί στη D_1 , η πρώτη ημιπερίοδος είναι 0V και η δεύτερη όσο και η u_s . Η μπλε (σκουρόχρωμη) κυματομορφή αντιστοιχεί στη D_3 , η πρώτη ημιπερίοδος είναι όσο και η u_s και η δεύτερη ημιπερίοδος 0V. Επίσης ισχύει $u_{D1} = u_{D2}$ και $u_{D3} = u_{D4}$, όπου u_{D2} , u_{D4} οι τάσεις στις D_2 , D_4 .



Εικ. 4.7: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RL.



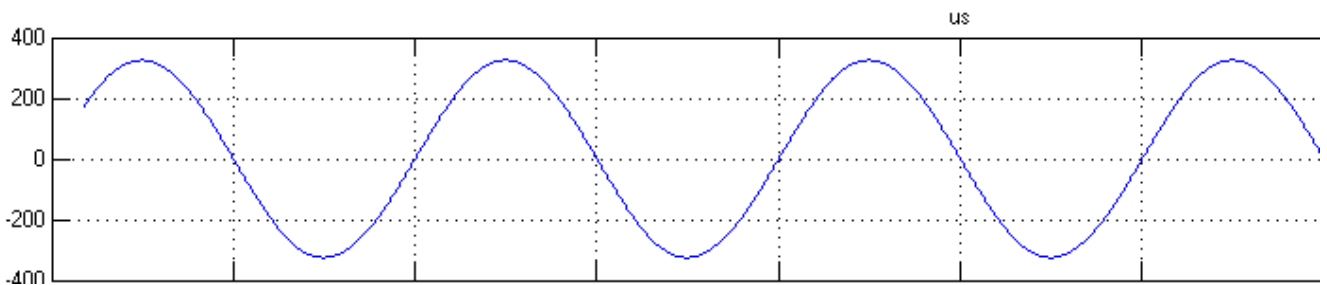
Εικ. 4.8: i_{D12} , i_{D34} . Τα ρεύματα που διαρρέουν τις διόδους. Το i_{D12} (πράσινη/ανοιχτόχρωμη κυματομορφή) διαρρέει τις D_1 , D_2 , η πρώτη ημιπερίοδος είναι όσο το i_o και η δεύτερη κοντά στα 0A. Το i_{D34} διαρρέει τις D_3 , D_4 (μπλε/σκουρόχρωμη κυματομορφή).



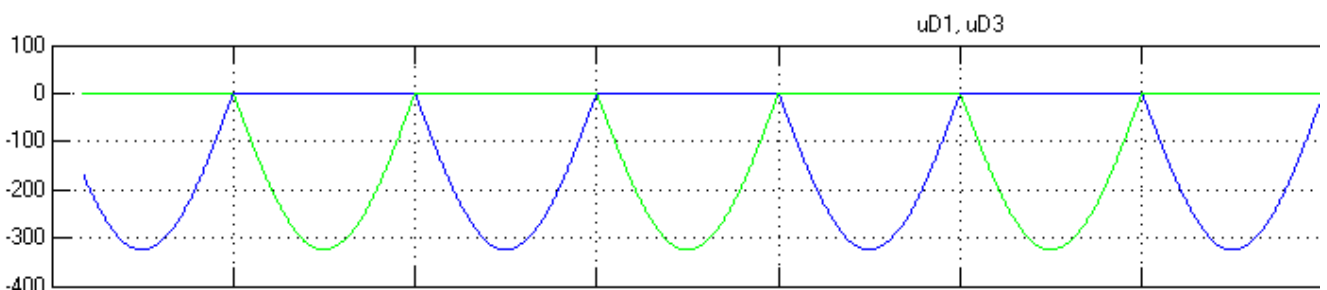
Εικ. 4.9: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RL .

Δεύτερη προσομοίωση:

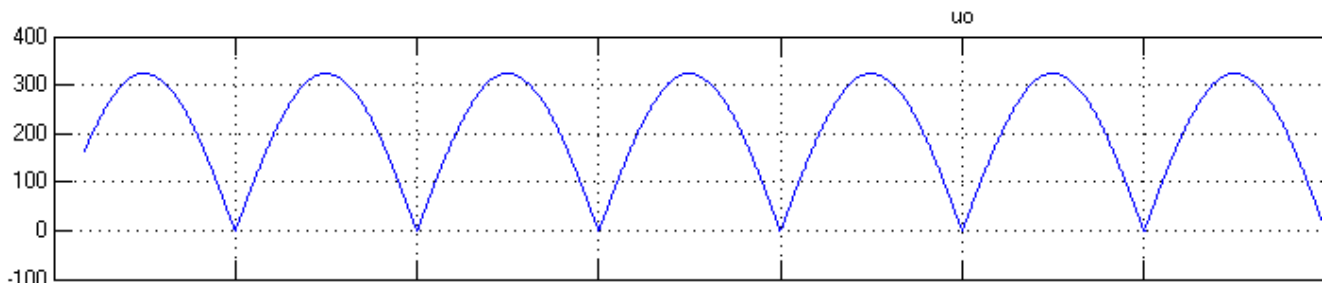
Η επαγωγή του πηνίου είναι μεγάλη (π.χ. 2H).



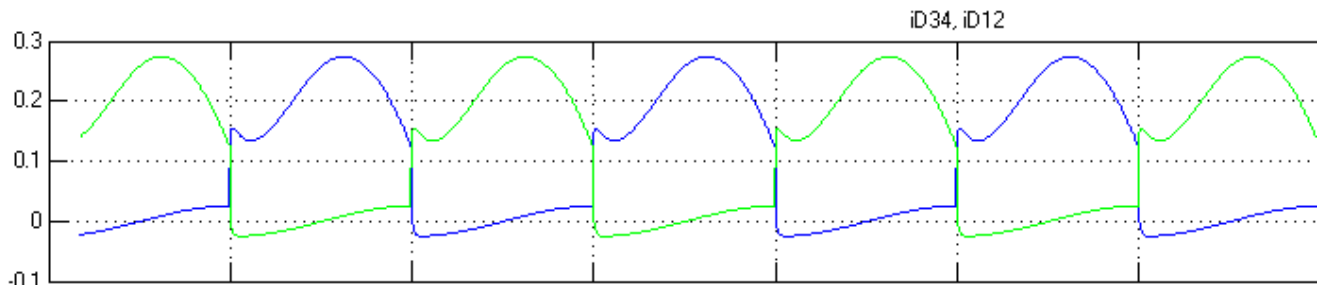
Εικ. 4.10: u_s . Η πηγή τροφοδοσίας AC.



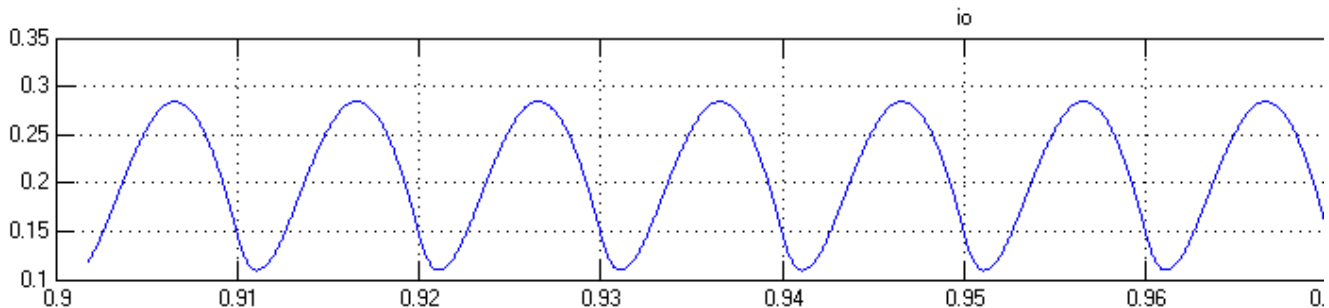
Εικ. 4.11: u_{D1} , u_{D3} . Οι τάσεις στις διόδους D_1 , D_3 . Η πράσινη (ανοιχτόχρωμη) κυματομορφή αντιστοιχεί στη D_1 και η μπλε (σκουρόχρωμη) κυματομορφή αντιστοιχεί στη D_3 .



Εικ. 4.12: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RL .



Εικ. 4.13: i_{D12} , i_{D34} . Τα ρεύματα που διαρρέουν τις διόδους. Το i_{D12} (πράσινη/ανοιχτόχρωμη κυματομορφή) διαρρέει τις D_1, D_2 . Το i_{D34} διαρρέει τις D_3, D_4 (μπλε/σκουρόχρωμη κυματομορφή).



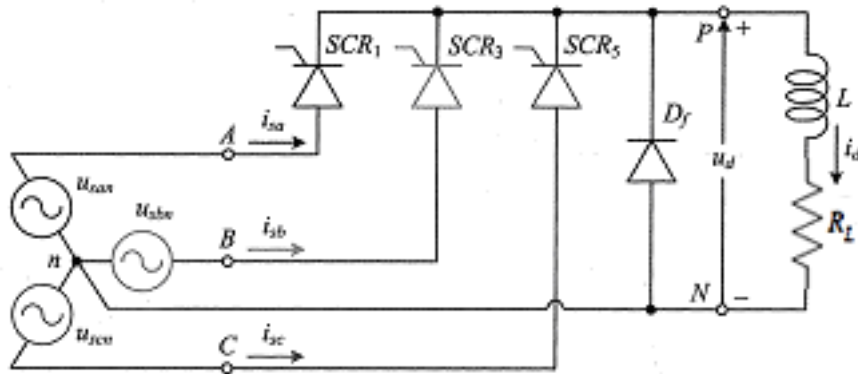
Εικ. 4.14: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RL .
Λόγω της μεγάλης επαγωγικής αντίστασης δε μηδενίζεται ποτέ.

Παρατηρήσεις

Όταν το πηνίο έχει χαμηλή τιμή ($100\mu\text{H}$) δεν επηρεάζει το κύκλωμα και η τάση εξόδου είναι ανάλογη της πηγής. Όσο αυξάνεται η επαγωγή τόσο το ρεύμα εξόδου τείνει να μείνει σταθερό (εξομάλυνση). Θεωρητικά με μια άπειρη επαγωγή το i_o θα ήταν τέλειο DC ρεύμα.

Η μέση τιμή της τάσης εξόδου είναι διπλάσια από εκείνη του ανορθωτή απλής ανόρθωσης (πρώτο κύκλωμα) για την ίδια πηγή εισόδου u_s .

5. Τριφασικός ανορθωτής με SCR, δίοδο ελεύθερης ροής και φορτίο επαγωγικό-ωμικό

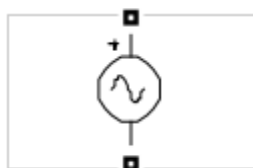


Εικ. 5.1

Ο ανορθωτής της Εικόνας 5.1 μοιάζει με τον μονοφασικό ανορθωτή με SCR με φορτίο επαγωγικό-ωμικό και δίοδο ελεύθερης ροής (Εικ. 2.1). Η διαφορά είναι ότι εδώ η πηγή είναι τριφασική, δηλαδή τρεις πηγές τάσης AC με διαφορά φάσης 120° η μία από την άλλη και τρεις SCR.

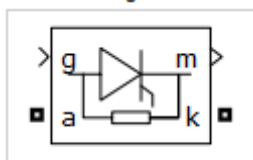
Οι τριφασικοί ανορθωτές σε σχέση με τους μονοφασικούς προσφέρουν μικρότερη κυμάτωση της τάσης και του ρεύματος εξόδου και μεγαλύτερο συντελεστή ισχύος.

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα



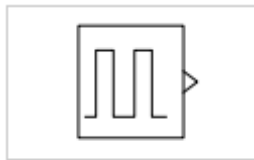
AC Voltage Source

- Τρεις εναλλασσόμενες πηγές τάσης
[*SimPowerSystems > Electrical Sources > AC Voltage Source*]



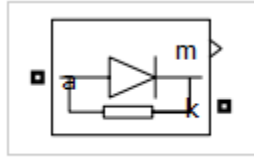
Thyristor
Εικ. 5.2

- Τρεις ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου (SCR, thyristors)
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Thyristor*]



Pulse Generator

- Τρεις γεννήτριες παλμών για σκανδαλισμό των SCR
[*Simulink > Sources > Pulse Generator*]



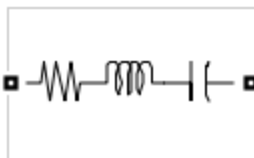
Diode

- Δίοδος ελεύθερης ροής
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Diode*]



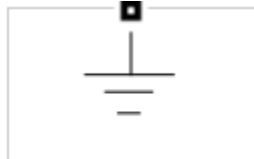
Demux

- Αποπολυπλέκτες για μέτρηση ρεύματος και τάσης στα SCR και την δίοδο
[*Simulink > Signal Routing > Demux*]



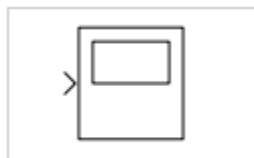
Series RLC Branch

- Ωμική αντίσταση και πηνίο σε σειρά
[*SimPowerSystems > Elements > Series RLC Branch*]



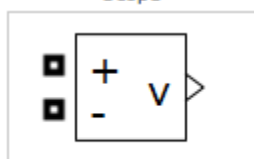
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems > Elements > Ground*]



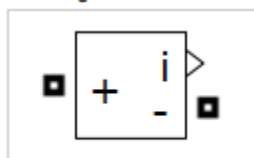
Scope

- Παλμογράφος για απεικόνιση τάσης και ρεύματος
[*Simulink > Sinks > Scope*]



Voltage Measurement

- Ειδικά blocks για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems > Measurements > Voltage Measurement*]
και για μέτρηση και απεικόνιση ρεύματος



Current Measurement

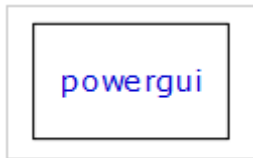
- [*SimPowerSystems > Measurements > Current Measurement*]



Mux

- Πολυπλέκτες, για συνδυασμό σημάτων στον παλμογράφο
[*Simulink > Signal Routing > Mux*]

Εικ. 5.3



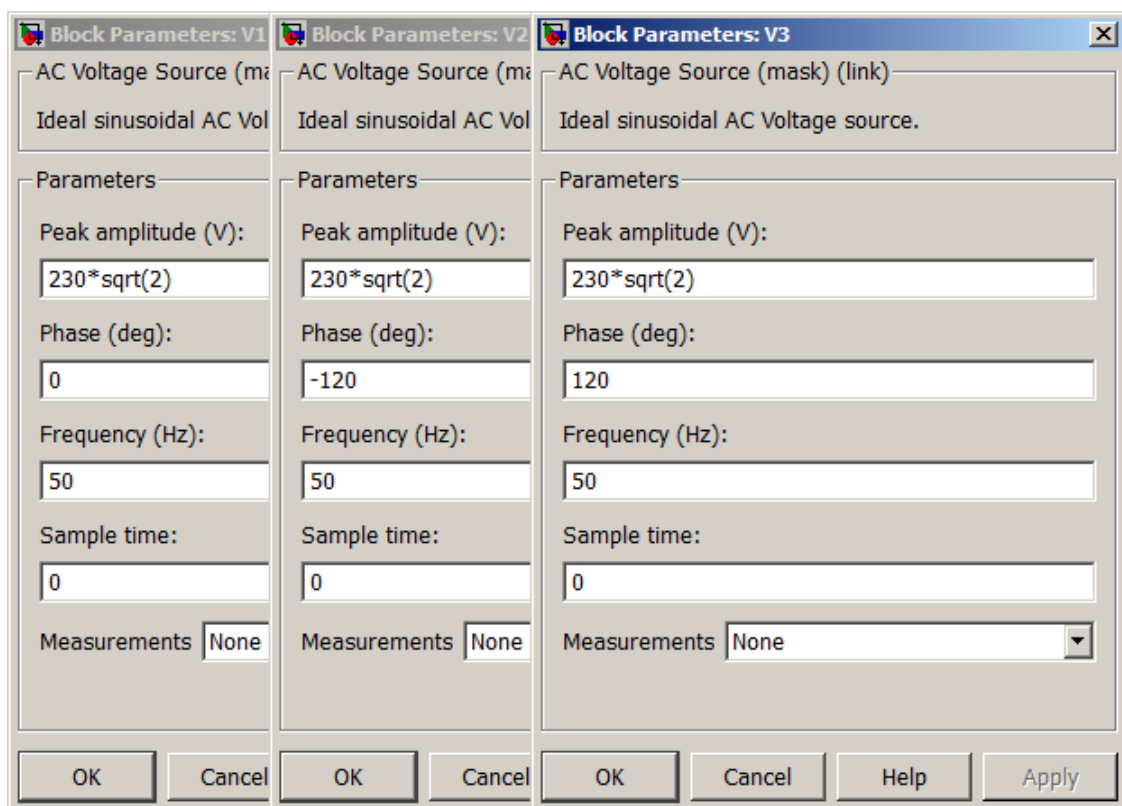
powergui
Εικ. 5.4

- Το block *powergui* για την προσομοίωση
[*SimPowerSystems* > *powergui*]

Διαδικασία σχεδίασης

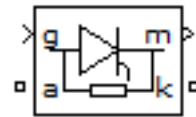
Εισάγουμε τα blocks όπως και στα προηγούμενα κυκλώματα. Παρακάτω δίνονται οδηγίες για συγκεκριμένα blocks.

AC Voltage Source: Το block θα χρησιμοποιηθεί τρεις φορές. Η πρώτη AC πηγή (u_1) θα έχει ίδιες παραμέτρους όπως στο πρώτο κύκλωμα (*Peak amplitude* (V): $230*\sqrt{2}$, *Frequency* (Hz): **50**). Η δεύτερη (u_2) και η τρίτη πηγή (u_3) θα διαφέρουν στο πεδίο *Phase* (deg), που αφορά την διαφορά φάσης σε μοίρες. Για την u_2 θέτουμε **-120** και για την u_3 **120**. Έτσι, η u_1 προηγείται κατά 120° σε σχέση με την u_2 , και η u_3 προηγείται κατά 120° σε σχέση με την u_1 . Σε μια περίοδο 360° οι πηγές ισαπέχουν ($360/3 = 120^\circ$) (Εικ. 5.5).

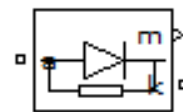


Εικ. 5.5

Thyristor: Οι άνοδοι (a) των SCR συνδέονται στις πηγές (ο SCR_1 στην u_1 , κ.ο.κ.), οι πύλες (g) με τις παλμογεννήτριες και οι κάθοδοι (k) συνδέονται μεταξύ τους και με το υπόλοιπο κύκλωμα.

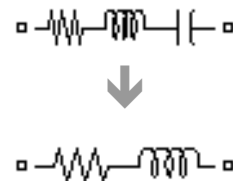


Diode: Η δίοδος ελεύθερης ροής D_f θα συνδεθεί με την άνοδό της στην γείωση και την κάθοδό της με την κάθοδο των SCR .



Οι ακίδες m των SCR και της D_f θα συνδεθούν μέσω αποπολυπλεκτών (Demux) σε παλμογράφο. Η πρώτη έξοδος κάθε block Demux δίνει το ρεύμα και η δεύτερη την τάση των SCR και της D_f .

Series RLC Branch: Θα χρησιμοποιήσουμε το block ως φορτίο RL . Με διπλό κλικ ορίζουμε τις παραμέτρους. *Branch type:* RL , *Resistance R (Ohms):* **100** και *Inductance L (H):* **1** (μεγάλη επαγωγή). Κάνοντας κλικ στο OK παρατηρούμε ότι από το block έχει απαληφθεί ο πυκνωτής.



Pulse Generator: Κάθε γεννήτρια παλμών θα συνδεθεί στην ακίδα g (*gate*) ενός SCR και θα παρασταθούν και οι τρεις παλμοσειρές στον ίδιο άξονα με τις πηγές στον παλμογράφο. Με διπλό κλικ ανοίγει το παράθυρο διαλόγου με τις παραμέτρους για κάθε γεννήτρια.



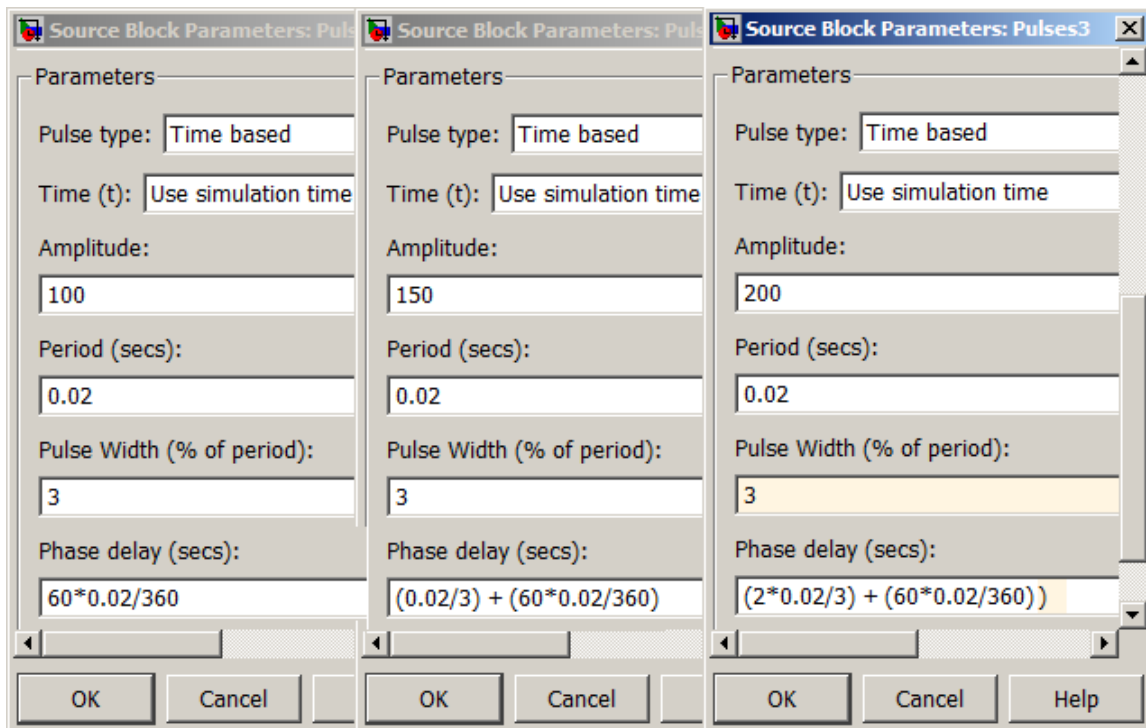
Στο πλάτος (*Amplitude*) δίνουμε έστω **100**, ώστε οι παλμοί να είναι ορατοί στον παλμογράφο όταν η γεννήτρια συνδεθεί στους ίδιους άξονες με τις πηγές AC. Η τιμή 100 Volts δίνεται μόνο για λόγους ευκρίνειας, καθώς για τον σκανδαλισμό των SCR αρκεί μια πολύ χαμηλή θετική τιμή. Μπορούμε να δώσουμε σε κάθε γεννήτρια διαφορετικό πλάτος, π.χ. στην πρώτη **100**, στην δεύτερη **150**, στην τρίτη **200** Volts. Έτσι θα ξεχωρίζουν αμέσως μεταξύ τους στις γραφικές παραστάσεις.

Στο πεδίο *Period (secs)* εισάγουμε την περίοδο σε seconds. Και οι τρεις AC πηγές έχουν περίοδο 50Hz, δηλαδή $1/50 = 0.02$ seconds, άρα δηλώνουμε και για τις τρεις γεννήτριες **0.02** (ή **1/50**).

Ο κύκλος εργασίας (*Pulse Width (% of period)*) δηλώνει το ποσοστό των παλμών που είναι θετικό, σε αντίθεση με το υπόλοιπο που είναι 0. Δίνουμε έστω την τιμή **3**.

Από το πεδίο *Phase delay (secs)* ρυθμίζεται σε ποιο χρονικό σημείο θα ξεκινά ο παλμός. Ή, με άλλα λόγια, την γωνία έναυσης των παλμών. Για την πρώτη προσομοίωση θα θέσουμε γωνία έναυσης 60° . Αργότερα θα την μεταβάλλουμε και θα ξαναπροσομοιώσουμε το κύκλωμα.

Για να εισάγουμε την γωνία έναυσης στο πεδίο που απαιτεί τιμή σε seconds θα χρησιμοποιήσουμε τον μαθηματικό τύπο που χρησιμοποιήσαμε σε προηγούμενο κύκλωμα με SCR, δηλαδή $Phase\ delay\ (secs) = a \cdot T / (360^\circ)$ όπου a η γωνία έναυσης σε μοίρες, T η περίοδος της πηγής σε seconds, 360° μια περίοδος σε μοίρες. Τα πλεονεκτήματα που μας παρέχει η εισαγωγή του μαθηματικού τύπου και όχι απευθείας του αποτελέσματος (με αναγκαστική στρογγυλοποίηση) αναφέρονται στην σχετική παράγραφο του προηγούμενου κυκλώματος. Με λίγα λόγια μας επιτρέπει μεγαλύτερη ακρίβεια χωρίς υπολογισμούς και πιο άμεση αλλαγή παραμέτρων (διαφορετική γωνία έναυσης για παράδειγμα).



Εικ. 5.6

Από το πεδίο $Phase\ delay\ (secs)$ θα οριστεί επίσης, εκτός από την γωνία έναυσης, και η διαφορά φάσης κάθε γεννήτριας ώστε να βρίσκεται σε συμφωνία με την αντίστοιχη πηγή AC. Μαζί με την τιμή που αντιστοιχεί στην γωνία έναυσης θα προστεθεί στην δεύτερη γεννήτρια παλμών μια καθυστέρηση $T/3$ (όπου T η περίοδος), δηλαδή $0.02/3$ seconds και στην τρίτη γεννήτρια μια καθυστέρηση $2T/3$, δηλαδή $2 \cdot 0.02/3$.

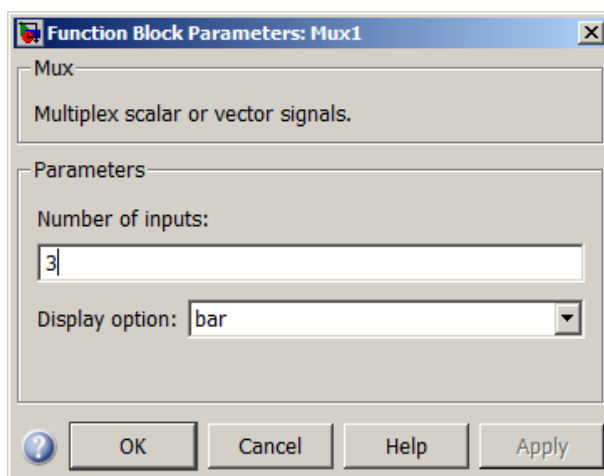
Συνοψίζοντας, στο πεδίο $Phase\ delay\ (secs)$ για την πρώτη παλμοσειρά (αυτήν που αντιστοιχεί στον SCR_1) εισάγουμε $60 \cdot 0.02/360$. Για την παλμοσειρά του SCR_2 $(0.02/3) + (60 \cdot 0.02/360)$ και για την παλμοσειρά του SCR_3 $(2 \cdot 0.02/3) + (60 \cdot 0.02/360)$ (Εικ. 5.6).

Για επαλήθευση μπορεί να γίνει ένας πρόχειρος έλεγχος των τιμών με χρήση του παλμογράφου. Αν συνδεθεί η μια πηγή AC στους ίδιους άξονες με την αντίστοιχη γεννήτρια παλμών θα πρέπει να φαίνεται ότι έχουν την ίδια περίοδο και ότι ο παλμός εμφανίζεται στο επιθυμητό σημείο της θετικής ημιπεριόδου του σήματος της πηγής.

Τοποθετούνται στα κατάλληλα σημεία γείωση (Ground) και μετρητές τάσης (Voltage Measurement) και ρεύματος (Current Measurement), όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα κυκλώματα.

Για να συνδυάσουμε πολλαπλά σήματα σε ένα σύστημα αξόνων στον παλμογράφο θα χρησιμοποιήσουμε τους πολυπλέκτες Mux, στους οποίους με

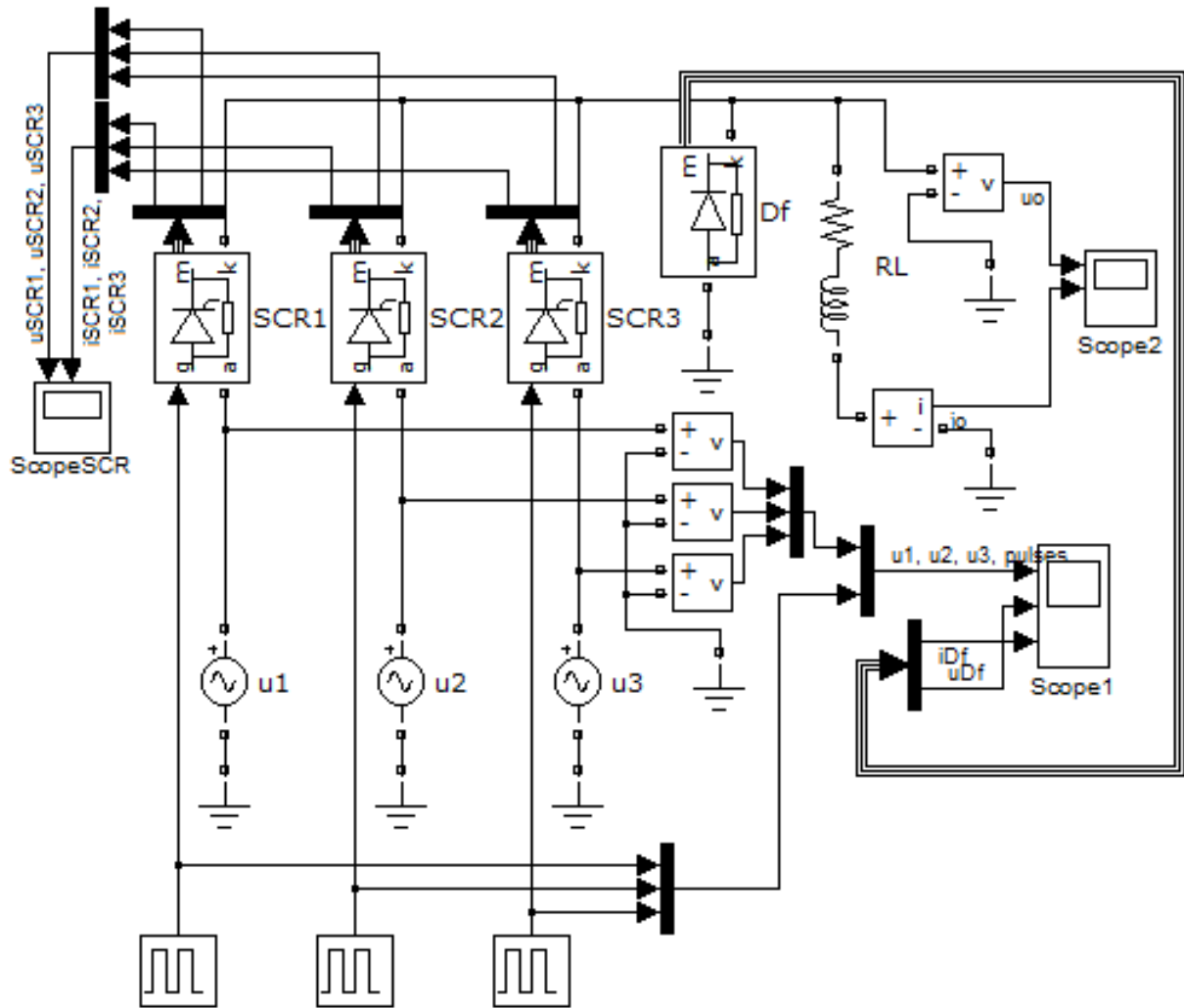
διπλό κλικ επιλέγουμε τον αριθμό εισόδων (Εικ. 5.7). Στο πρώτο σύστημα αξόνων του παλμογράφου (Scope) θα συνδυαστούν οι τρεις πηγές AC και οι τρεις παλμογεννήτριες ($u_1, u_2, u_3, pulses$), σε άλλο σύστημα αξόνων οι τάσεις στα άκρα των τριών SCR, ($u_{SCR1}, u_{SCR2}, u_{SCR3}$) και τα ρεύματα που τα διαρρέουν ($i_{SCR1}, i_{SCR2}, i_{SCR3}$).



Εικ. 5.7

Οι υπόλοιποι είσοδοι του παλμογράφου θα αναπαριστούν το ρεύμα φορτίου (i_o), την τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RL (u_o) και την τάση και το ρεύμα της D_f (u_{Df}, i_{Df}). Οι ρυθμίσεις του παλμογράφου αναφέρονται αναλυτικά και προηγουμένως. Με διπλό κλικ στο block ανοίγει το παράθυρο αξόνων και κάνουμε κλικ στο εικονίδιο *Parameters* από όπου επιλέγουμε το πλήθος των αξόνων ανά παλμογράφο. Προς όφελος ευκρίνειας και για τεχνικούς λόγους (μικρή οθόνη υπολογιστή) θα χρησιμοποιηθούν διάφοροι παλμογράφοι.

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα φαίνεται στην Εικόνα 5.8.



Εικ. 5.8

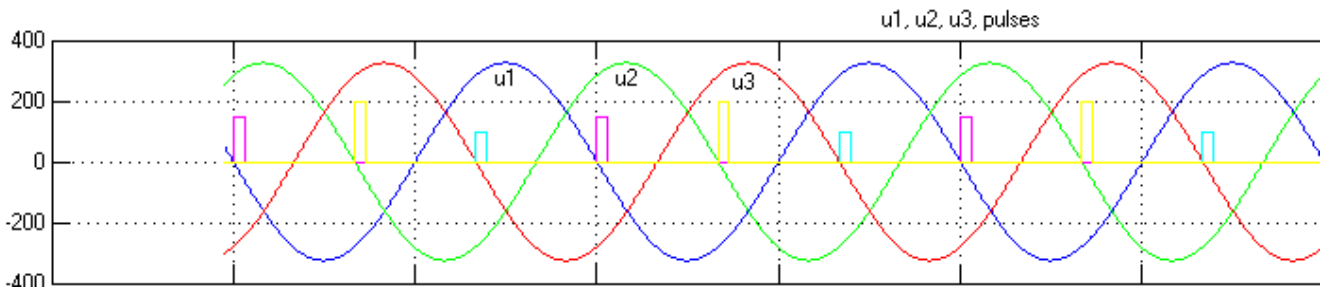
Προσομοίωση

Πριν την προσομοίωση γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις: εισάγουμε το block *powergui* και από το μενού *Simulation > Configuration Parameters...* ορίζουμε τις παραμέτρους όπως και στα προηγούμενα κυκλώματα (*Stop time*: π.χ. **0.1**, *Solver*: *ode23tb (stiff/TR-BD2)*).

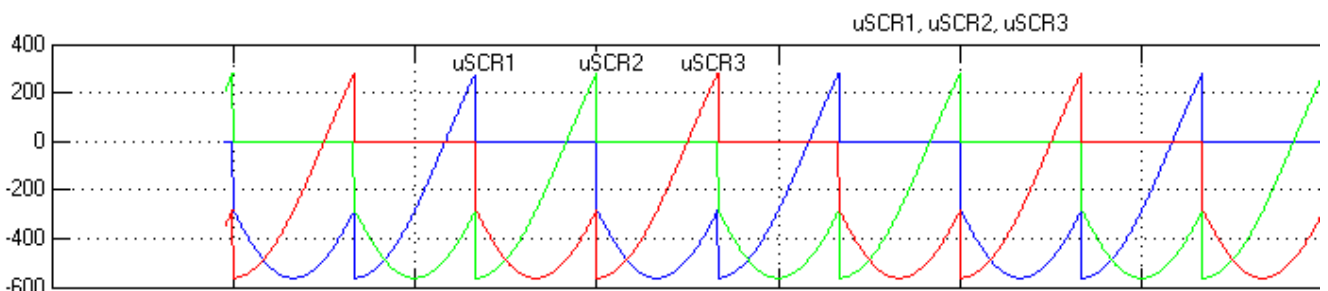


Πρώτη προσομοίωση:

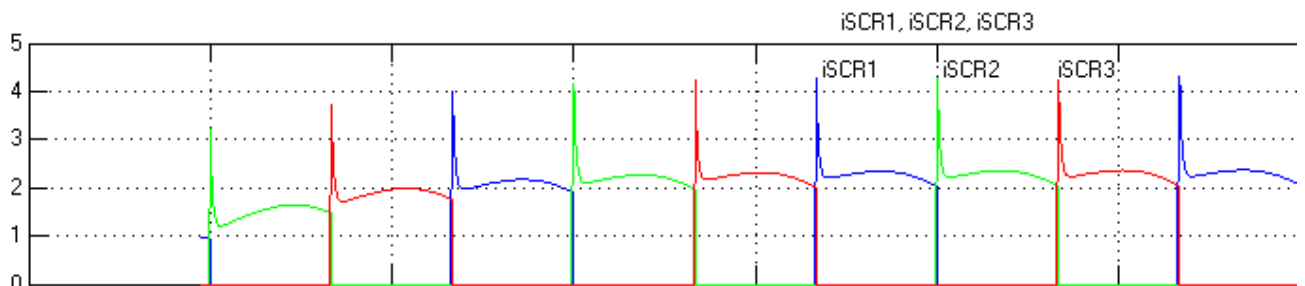
Για γωνία έναυσης 60° (σε σχέση πάντα με την κάθε πηγή).



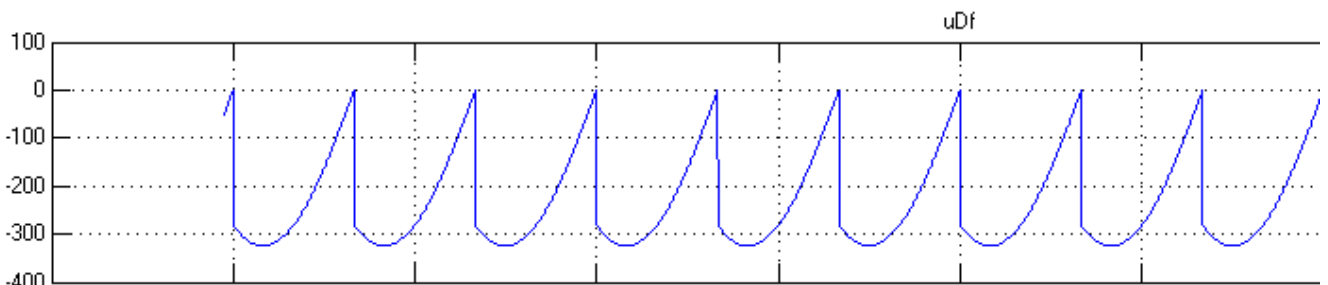
Εικ. 5.9: $u_1, u_2, u_3, pulses$. Οι πηγές τροφοδοσίας AC που απέχουν κατά 120° η μια από την άλλη και οι παλμοί των τριών παλμογεννητριών. Ο πιο χαμηλός παλμός (*Amplitude: 100*) εκκινεί τον SCR_1 , ο πιο ψηλός (*Amplitude: 200*) τον SCR_3 και ο μεσαίος τον SCR_2 .



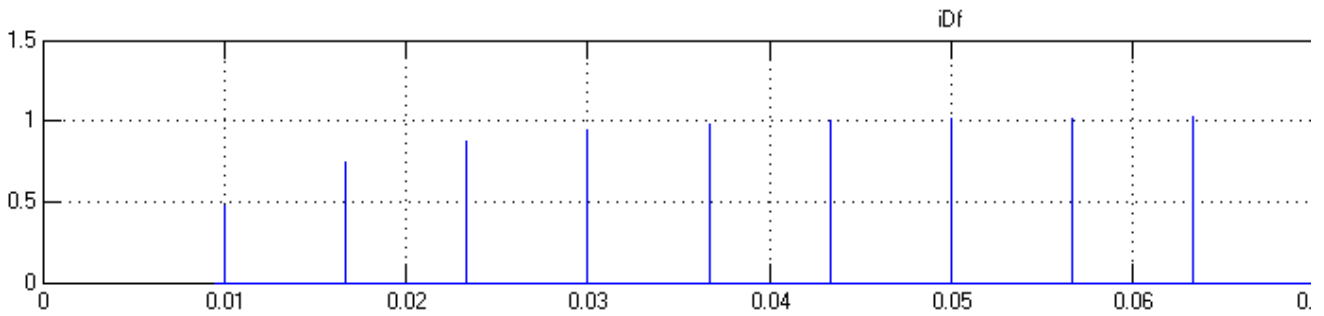
Εικ. 5.10: $u_{SCR1}, u_{SCR2}, u_{SCR3}$. Οι τάσεις στα άκρα των SCR. Η μπλε κυματομορφή αντιστοιχεί στον SCR_1 , η πράσινη (ανοιχτόχρωμη) στον SCR_2 και η κόκκινη στον SCR_3 .



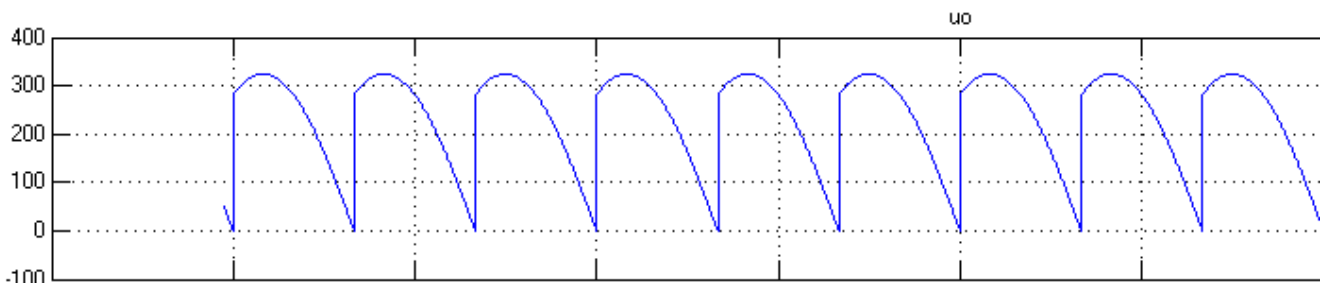
Εικ. 5.11: $i_{SCR1}, i_{SCR2}, i_{SCR3}$. Τα ρεύματα που διαρρέουν τα SCR. Για την περίοδο που οι SCR άγουν έχουν μια σταθερή τιμή κοντά στα 2A. Η μπλε κυματομορφή αντιστοιχεί στον SCR_1 , η πράσινη στον SCR_2 και η κόκκινη στον SCR_3 .



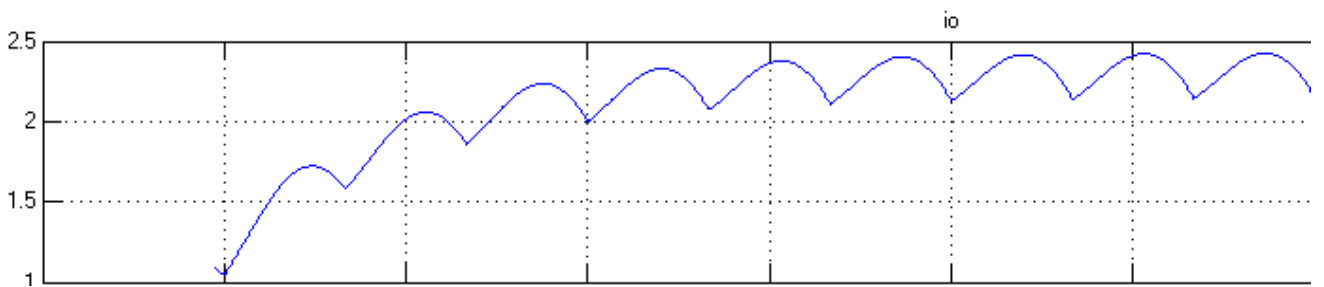
Εικ. 5.12: u_{Df} . Η τάση στα άκρα της διόδου D_f . Λόγω της μικρής γωνίας έναυσης δεν άγει.



Εικ. 5.13: i_{Df} . Το ρεύμα που διαρρέει την D_f .



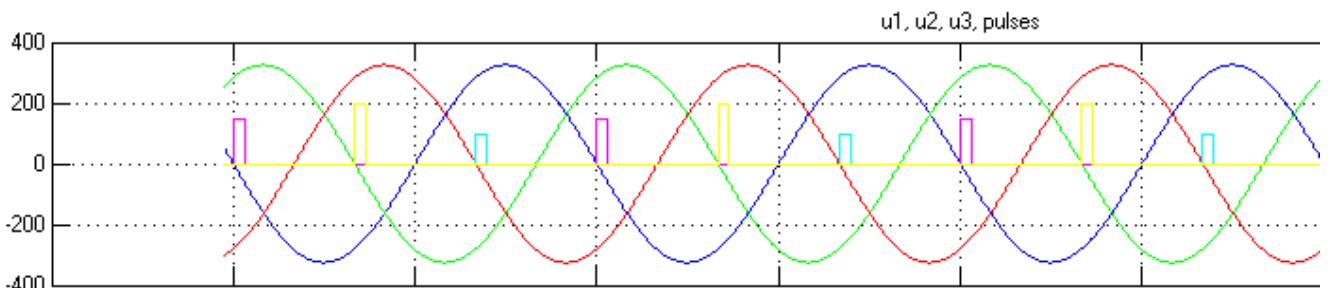
Εικ. 5.14: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RL



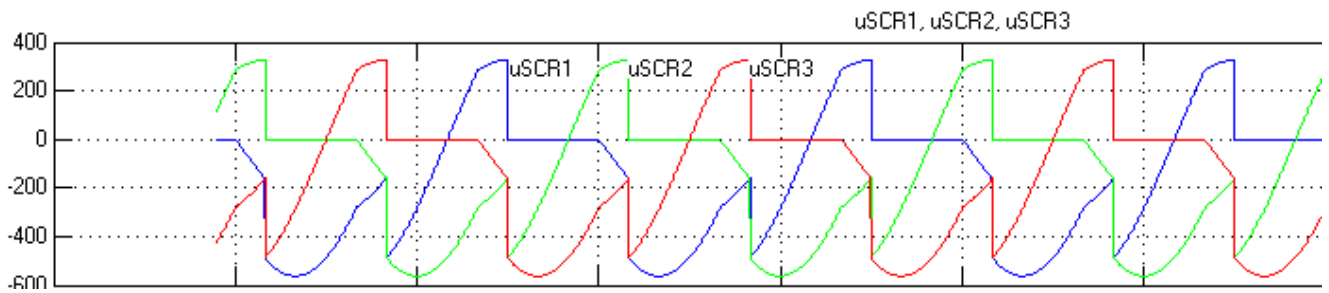
Εικ. 5.15: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RL .

Δεύτερη προσομοίωση:

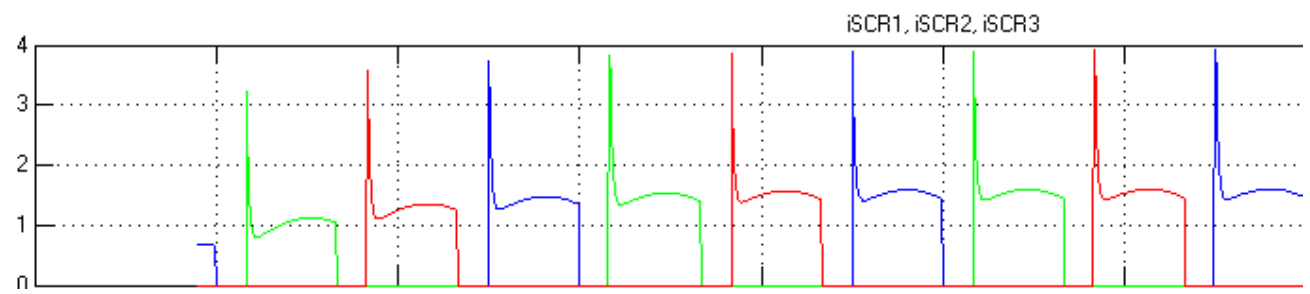
Για γωνία έναυσης 90° . Στα πεδία *Phase delay (secs)* από τις παραμέτρους των παλμογεννητριών εισάγουμε $90 \cdot 0.02/360$ για την πρώτη, $(0.02/3) + (90 \cdot 0.02/360)$ για την δεύτερη και $(0.02/3) + (90 \cdot 0.02/360)$ για την τρίτη παλμογεννήτρια.



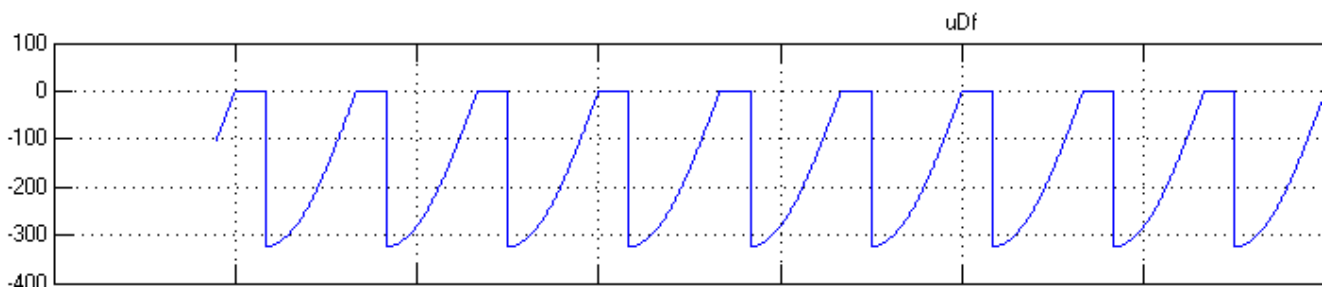
Εικ. 5.16: $u_1, u_2, u_3, pulses$. Οι πηγές τροφοδοσίας AC που απέχουν κατά 120° η μια από την άλλη και οι παλμοί των τριών παλμογεννητριών.



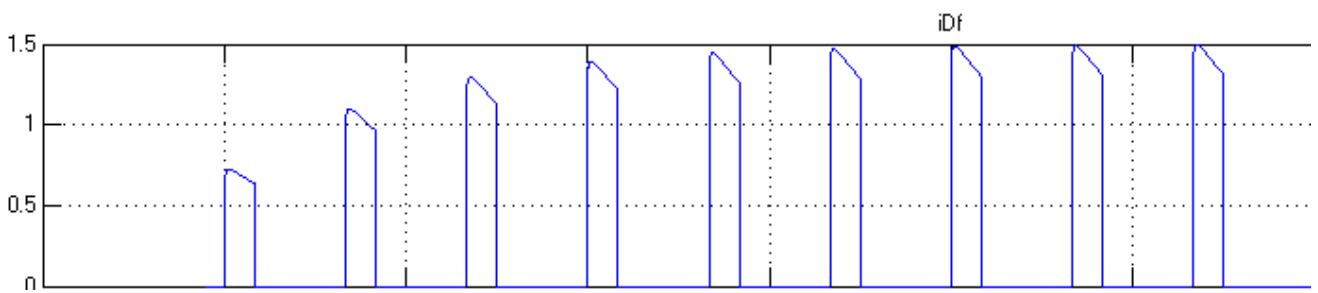
Εικ. 5.17: u_{SCR1} , u_{SCR2} , u_{SCR3} . Οι τάσεις στα άκρα των SCR. Η μπλε κυματομορφή αντιστοιχεί στον SCR_1 , η πράσινη στον SCR_2 και η κόκκινη στον SCR_3 .



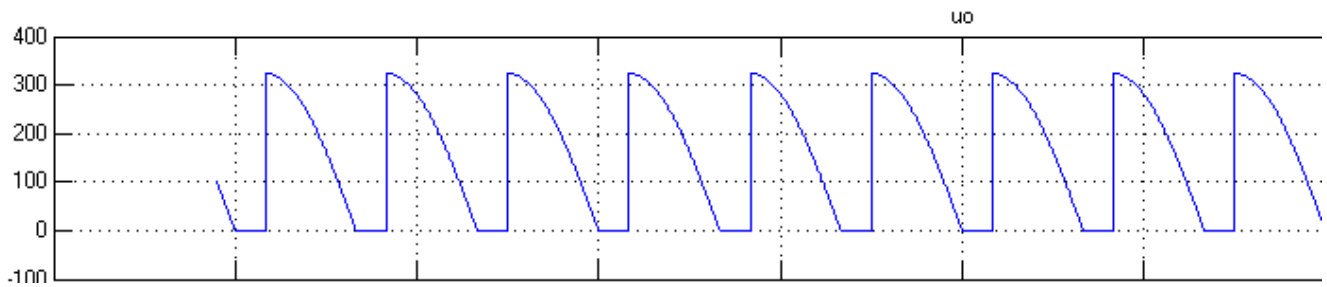
Εικ. 5.18: i_{SCR1} , i_{SCR2} , i_{SCR3} . Τα ρεύματα που διαρρέουν τα SCR. Η μπλε κυματομορφή αντιστοιχεί στον SCR_1 , η πράσινη στον SCR_2 και η κόκκινη στον SCR_3 . Είναι μικρότερο όταν αυξάνουμε την γωνία έναυσης.



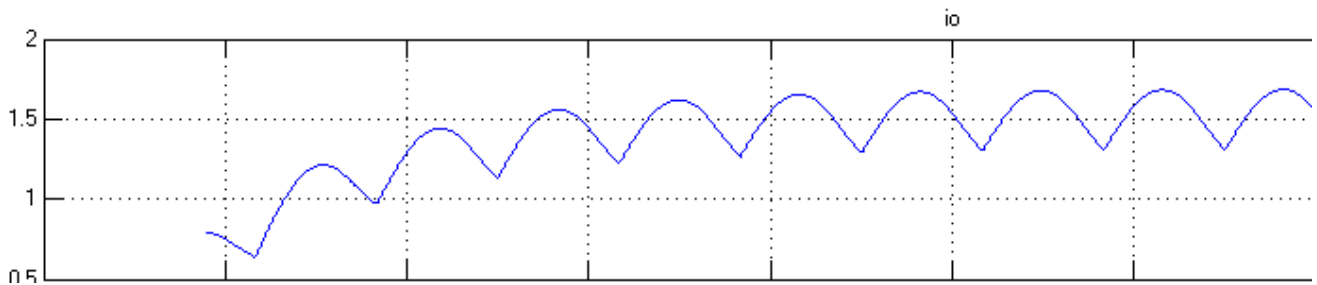
Εικ. 5.19: u_{Df} . Η τάση στα άκρα της διόδου D_f .



Εικ. 5.20: i_{Df} . Το ρεύμα που διαρρέει την D_f .



Εικ. 5.21: u_o : η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RL . Η τιμή κορυφής της είναι όση και της τροφοδοσίας u_s ($230\sqrt{2}V$).



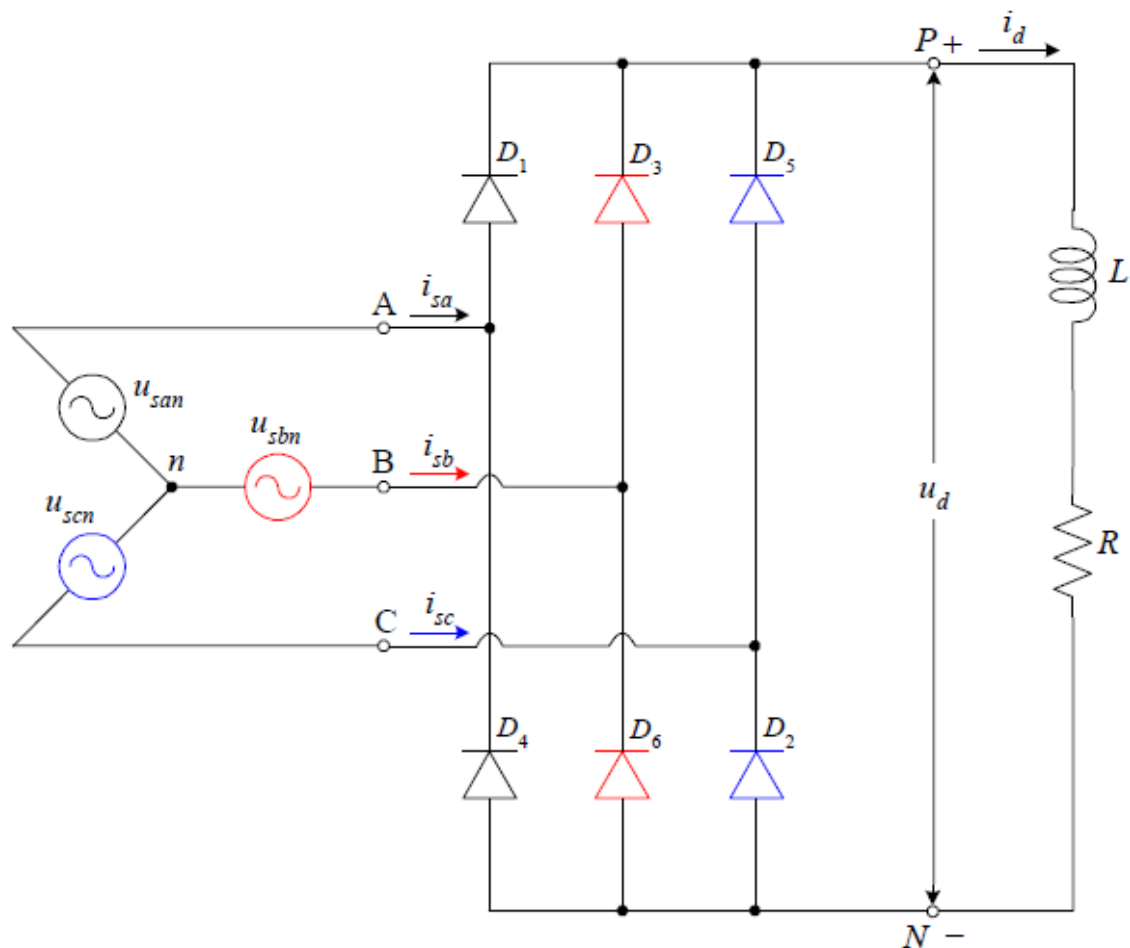
Εικ. 5.22: i_o : το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RL . Είναι αρκετά μικρότερο όταν αυξάνουμε την γωνία έναυσης.

Παρατηρήσεις

Η τάση εξόδου ελέγχεται από την γωνία έναυσης των SCR . Όσο πιο μικρή είναι η γωνία τόσο πιο σύντομα ξεκινούν οι SCR να άγουν.

Λόγω της ισχυρής επαγωγής ($L = 1H$) υπάρχει συνεχής αγωγή του ρεύματος. Αν μειώσουμε αρκετά την τιμή από τις παραμέτρους του πηνίου L (π.χ. $1e-6$, δηλαδή $1\mu H$) θα διαπιστώσουμε (με μια νέα προσομοίωση) ότι το ρεύμα μηδενίζεται κατά διαστήματα (διακοπτόμενη αγωγή).

6. Τριφασικός ανορθωτής γέφυρας με διόδους



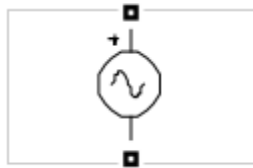
Εικ. 6.1

Μπορούμε να παρομοιάσουμε τον μετατροπέα γέφυρας (Εικ. 6.1) σαν τρεις μονοφασικούς μετατροπείς απλής ανόρθωσης συνδεδεμένους στη σειρά.

Οι $D_{1,3,5}$ απαρτίζουν το θετικό μετατροπέα απλής ανόρθωσης (positive half-wave converter), ο οποίος λειτουργεί με το συνήθη τρόπο. Επομένως, η διόδος με τη θετικότερη τάση στην άνοδο άγει, παράγοντας μια θετική τάση στο σημείο P σε σχέση με την γείωση.

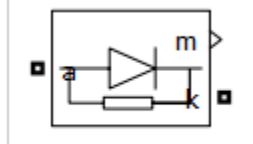
Οι $D_{2,4,6}$ αποτελούν τον αρνητικό μετατροπέα απλής ανόρθωσης με την διαφορά να είναι ότι η πολικότητα των τάσεων είναι αντεστραμμένη. Έτσι άγει η διόδος με την αρνητικότερη κάθοδο.

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα



AC Voltage Source

- Τρεις εναλλασσόμενες πηγές τάσης
[*SimPowerSystems* > *Electrical Sources* > *AC Voltage Source*]



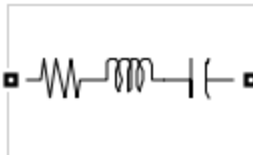
Diode

- Έξι δίοδοι για τον σχηματισμό γέφυρας
[*SimPowerSystems* > *Power Electronics* > *Diode*]



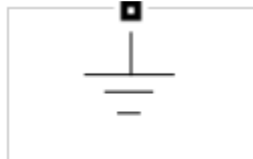
Demux

- Έξι αποπολυπλέκτες για μέτρηση ρεύματος και τάσης στις δίοδους
[*Simulink* > *Signal Routing* > *Demux*]



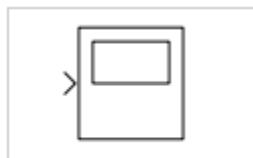
Series RLC Branch

- Ωμική αντίσταση και πηνίο σε σειρά
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Series RLC Branch*]



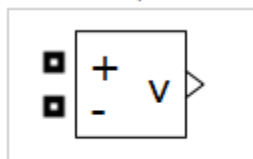
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Ground*]



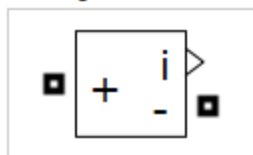
Scope

- Παλμογράφος για απεικόνιση τάσης και ρεύματος
[*Simulink* > *Sinks* > *Scope*]



Voltage Measurement

- Ειδικά blocks για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems* > *Measurements* > *Voltage Measurement*]
και για μέτρηση και απεικόνιση ρεύματος



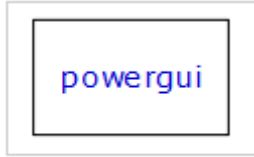
Current Measurement

- [*SimPowerSystems* > *Measurements* > *Current Measurement*]

Εικ. 6.2



Mux



powergui

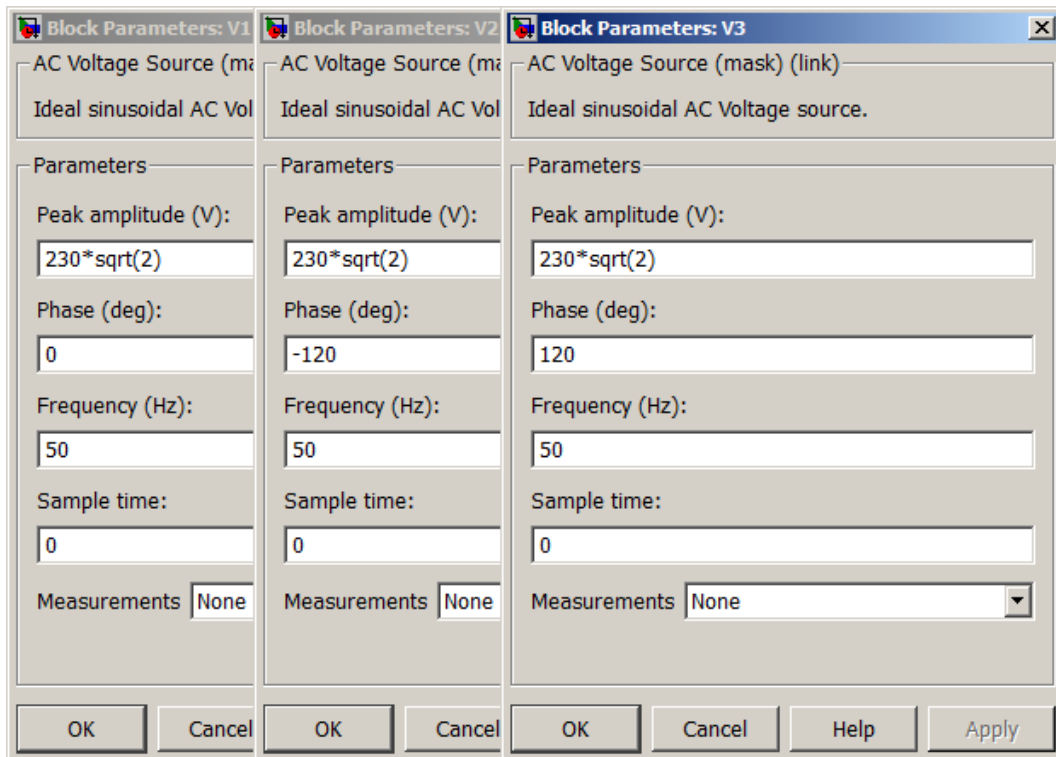
Εικ. 6.3

- Πολυπλέκτες, για συνδυασμό σημάτων στον παλμογράφο
[*Simulink > Signal Routing > Mux*]
- Το block *powergui* για την προσομοίωση
[*SimPowerSystems > powergui*]

Διαδικασία σχεδίασης

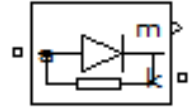
Εισάγονται τα blocks από τις βιβλιοθήκες (Εικ. 6.2, 6.3). Όπου χρειάζεται τα blocks μορφοποιούνται, περιστρέφονται κλπ από το μενού *Format*.

AC Voltage Source: Οι πηγές u_1 , u_2 , u_3 έχουν ίδιο πλάτος (*Peak amplitude (V)*): $230 \cdot \sqrt{2}$ και ίδια συχνότητα (*Frequency (Hz)*): **50** και διαφορά φάσης η μία από την άλλη 120° . Για την u_1 εισάγουμε στο πεδίο *Phase (deg)*: **0**, για την u_2 **-120** και για την u_3 **120** (Εικ. 6.4).



Εικ. 6.4

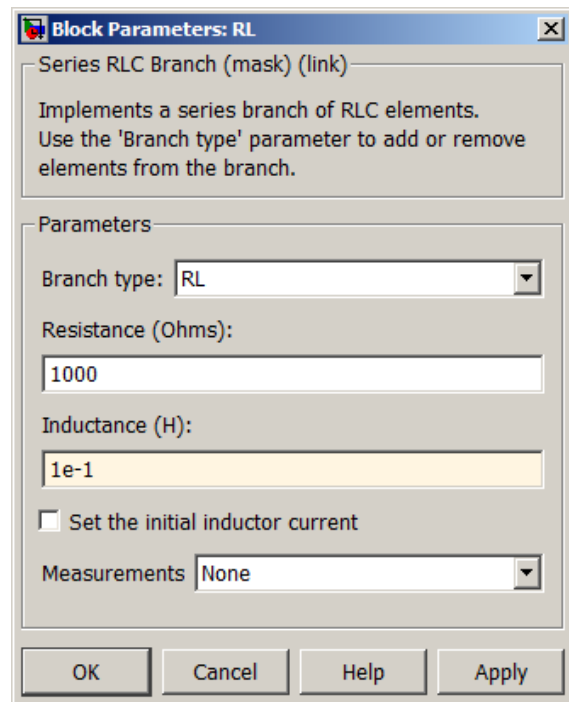
Diode: Τοποθετούνται οι έξι δίοδοι σε σχηματισμό γέφυρας. Πρέπει να δοθεί προσοχή στην ονομασία των blocks. Οι D_1, D_3, D_5 άγουν κατά τις θετικές ημιπεριόδους των u_1, u_2, u_3 ενώ οι D_4, D_6, D_2 κατά τις αρνητικές ημιπεριόδους. Οι άνοδοι (a) των D_1, D_3, D_5 συνδέονται στα θετικά άκρα των πηγών και οι κάθοδοι (k) μεταξύ τους και με το φορτίο. Οι κάθοδοι των D_4, D_6, D_2 συνδέονται στις πηγές ενώ οι άνοδοι μεταξύ τους και με το άλλο άκρο του φορτίου. Οι ακροδέκτες m (measurement port) θα οδηγηθούν σε παλμογράφο μέσω του αποπολυπλέκτη *Demux* για απεικόνιση τάσης και ρεύματος.



Series RLC Branch: Θα χρησιμοποιήσουμε αυτό το block ως φορτίο RL.

Με διπλό κλικ ορίζουμε τις παραμέτρους. *Branch type:* RL, *Resistance R (Ohms):* 1000, *Inductance L (H):* 100e-06 (Εικ. 6.5). Αρχικά δίνουμε μια μικρή τιμή στην επαγωγή αργότερα όμως μετά την πρώτη προσομοίωση μπορούμε να την αυξήσουμε.

Παρατηρούμε ότι το block παίρνει μορφή RL σε συνδεσμολογία σειράς.



Εικ. 6.5

Στη συνέχεια συνδέουμε τα blocks μεταξύ τους. Τοποθετούμε γειώσεις (*Ground*) όπου είναι απαραίτητο.

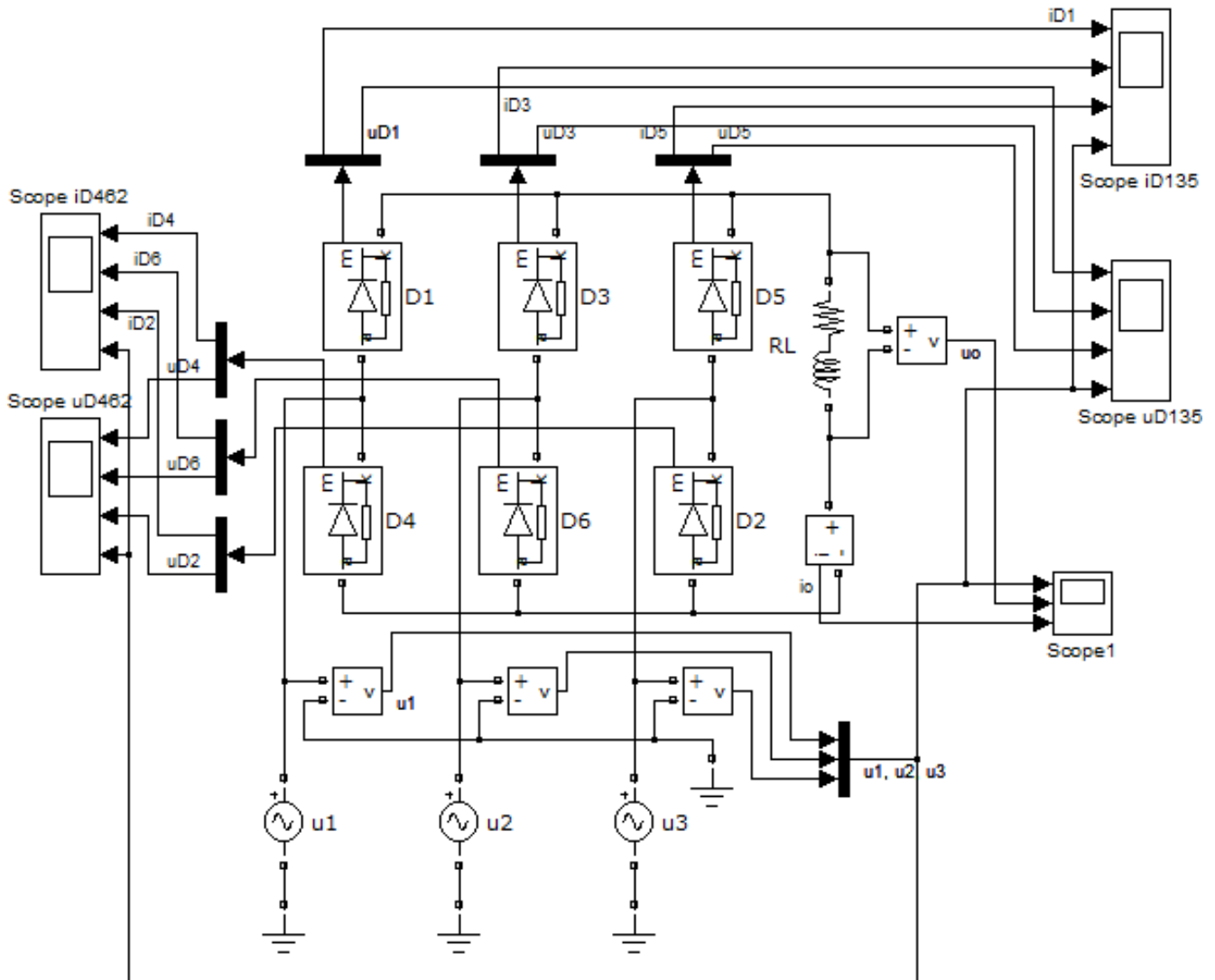
Οι μετρητές τάσης (*Voltage Measurement*) και ρεύματος (*Current Measurement*) θα παρεμβάλλονται μεταξύ των σημείων μέτρησης και των εισόδων του παλμογράφου.

Mux: Ο πολυπλέκτης θα χρησιμοποιηθεί για να συνδυαστούν τα σήματα των πηγών u_1, u_2, u_3 σε ένα κανάλι του παλμογράφου. Με διπλό κλικ στο block εισάγουμε *Number of inputs:* 3.

Scope: Ο παλμογράφος θα απεικονίσει την τριφασική πηγή που αποτελείται από τις u_1, u_2, u_3 και σε χρονικό συσχετισμό την τάση εξόδου στα

άκρα του φορτίου και το ρεύμα που το διαρρέει (u_o , i_o). Με διπλό κλικ και κλικ στο εικονίδιο *Parameters* επιλέγουμε τον αριθμό αξόνων ανά παλμογράφο. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πρόσθετους παλμογράφους, π.χ. για την απεικόνιση των ρευμάτων και των τάσεων των διόδων.

Το τελικό κύκλωμα φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 6.6.



Εικ. 6.6

Προσομοίωση

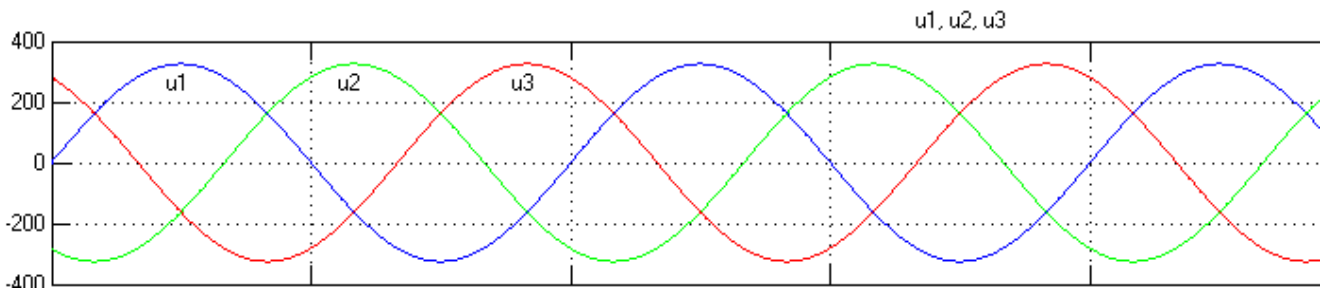
Ρυθμίζουμε όπως πάντα τις παραμέτρους προσομοίωσης. Εισάγουμε το block *powergui*. Από το μενού *Simulation > Configuration Parameters...* επιλέγουμε *Stop time*: π.χ. **0.07** και *Solver*: *ode23tb (stiff/TR-BD2)*.



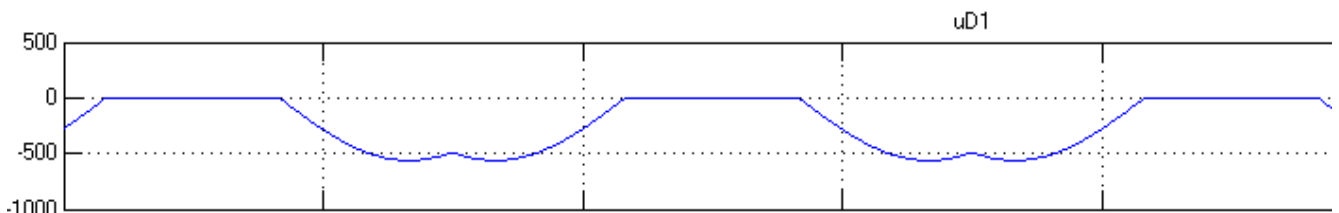
Στην πρώτη προσομοίωση παρουσιάζονται οι τάσεις στα άκρα των διόδων (ποιες άγουν και πότε) σε σχέση με την τριφασική πηγή. Στην δεύτερη προσομοίωση αυξάνουμε αρκετά την επαγωγή.

Πρώτη προσομοίωση:

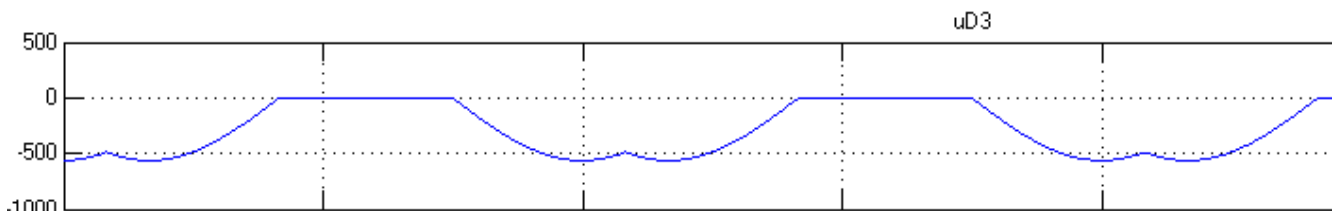
Η επαγωγή του πηνίου είναι μικρή (1μH).



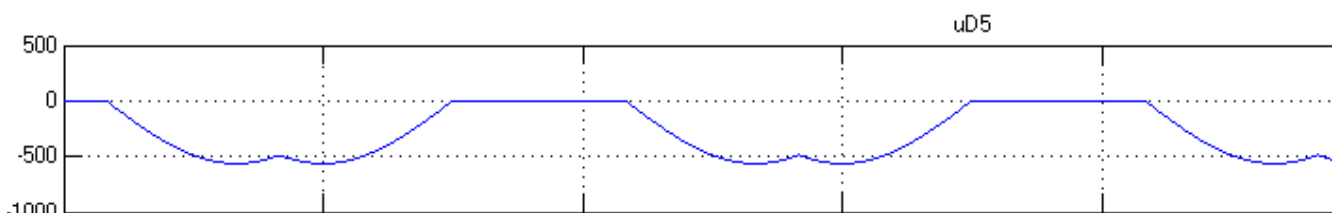
Εικ. 6.7: u_1, u_2, u_3 . Η τριφασική πηγή τάσης. Η u_1 (μπλε) προηγείται κατά 120° της u_2 (πράσινη) και κατά 240° της u_3 (κόκκινη κυματομορφή).



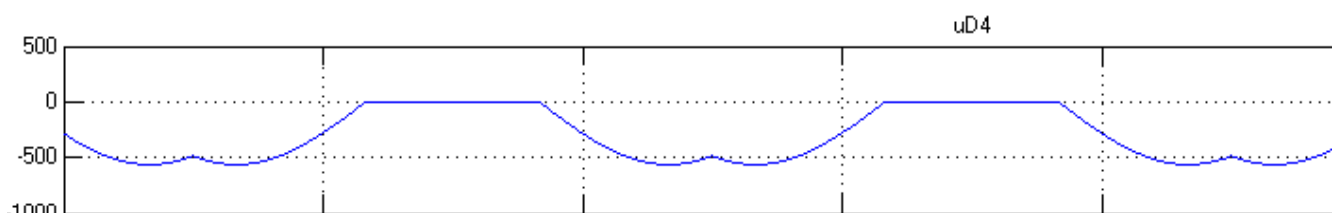
Εικ. 6.8: u_{D1} . Η τάση στα άκρα της διόδου D_1 , άγει κατά την θετική ημιπερίοδο της u_1 .



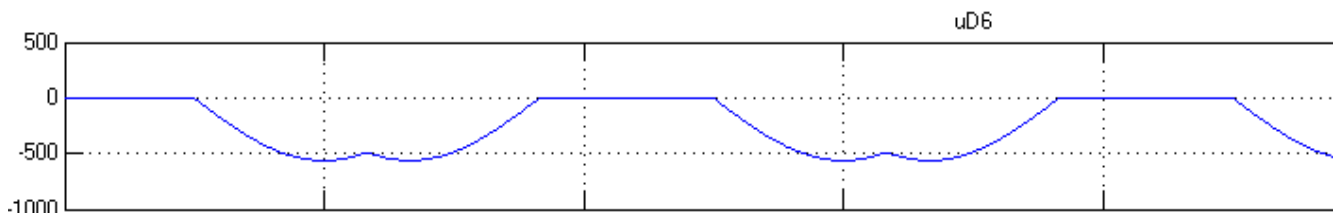
Εικ. 6.9: u_{D3} . Η τάση στα άκρα της D_3 , άγει κατά την θετική ημιπερίοδο της u_2 .



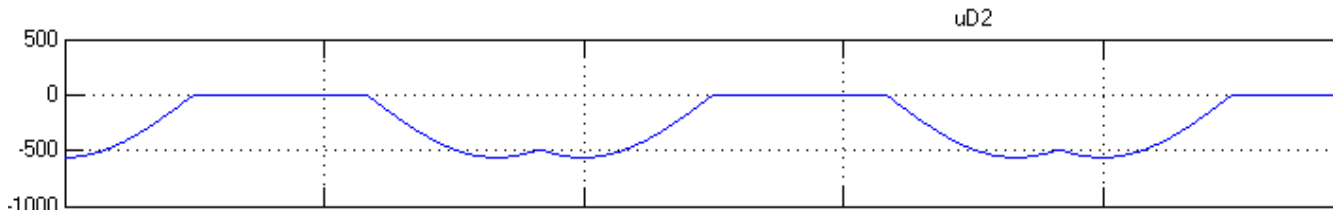
Εικ. 6.10: u_{D5} . Η τάση στα άκρα της D_5 , άγει κατά την θετική ημιπερίοδο της u_3 .



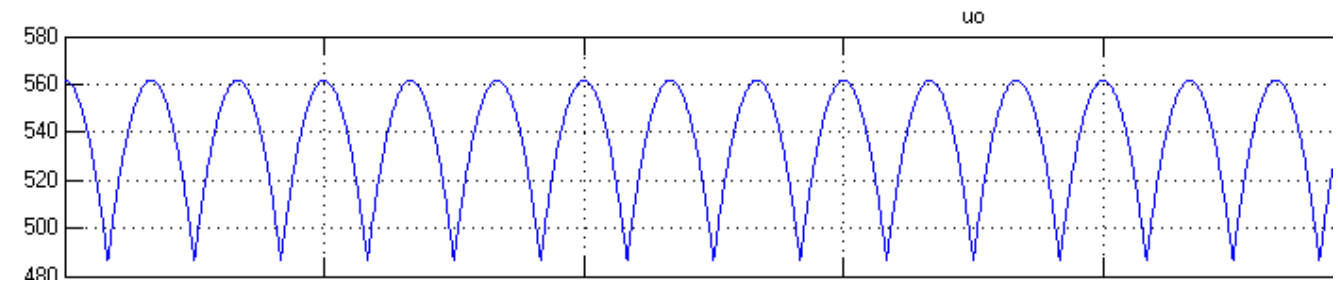
Εικ. 6.11: u_{D4} . Η τάση στα άκρα της D_4 , άγει κατά την αρνητική ημιπερίοδο της u_1 .



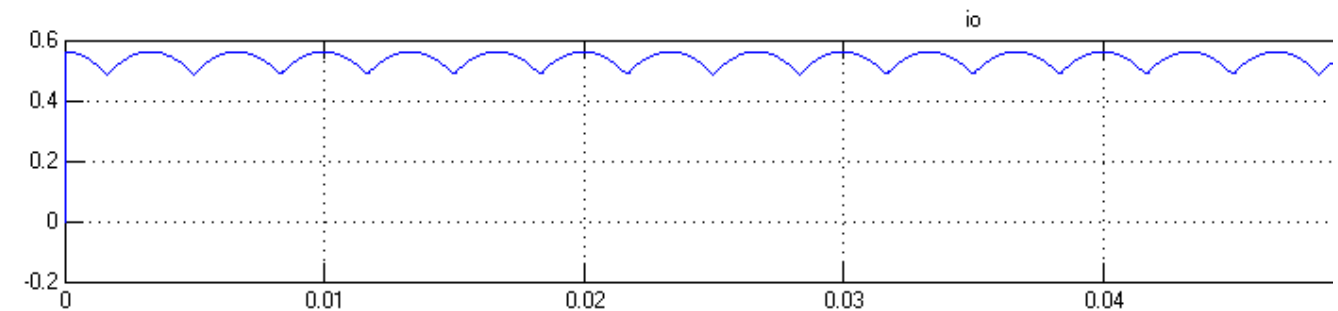
Εικ. 6.12: u_{D6} . Η τάση στα άκρα της D_6 , άγει κατά την αρνητική ημιπερίοδο της u_2 .



Εικ. 6.13: u_{D2} . Η τάση στα άκρα της D_2 , άγει κατά την αρνητική ημιπερίοδο της u_3 .



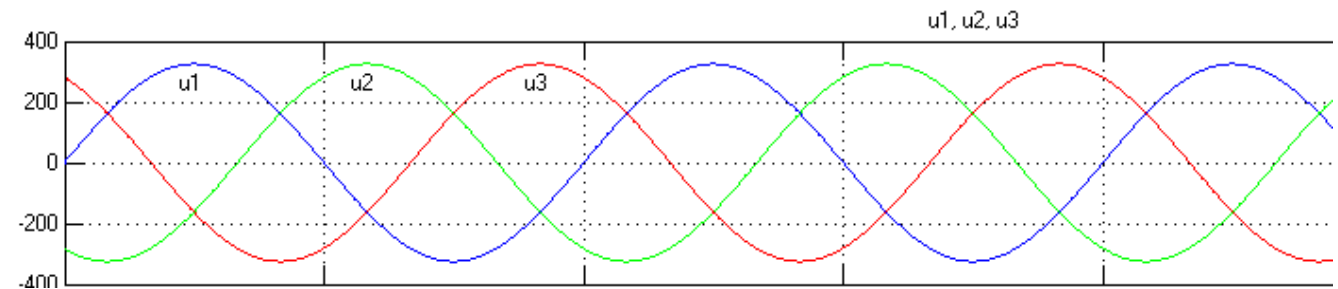
Εικ. 6.14: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RL .



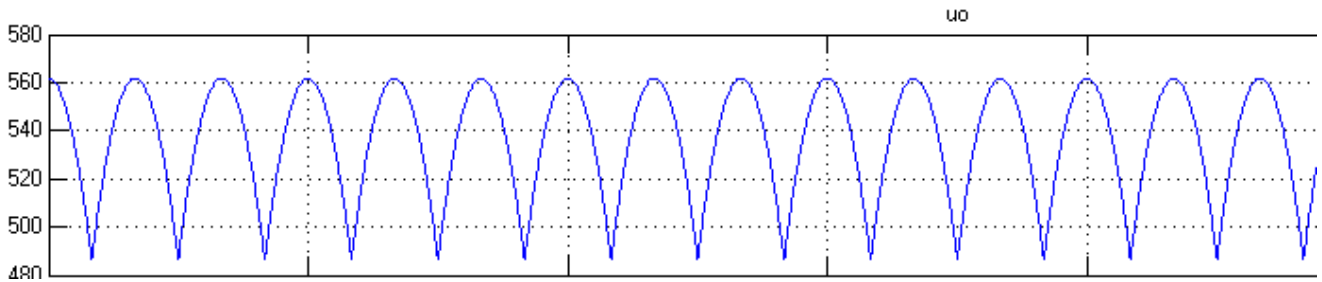
Εικ. 6.15: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RL

Δεύτερη προσομοίωση:

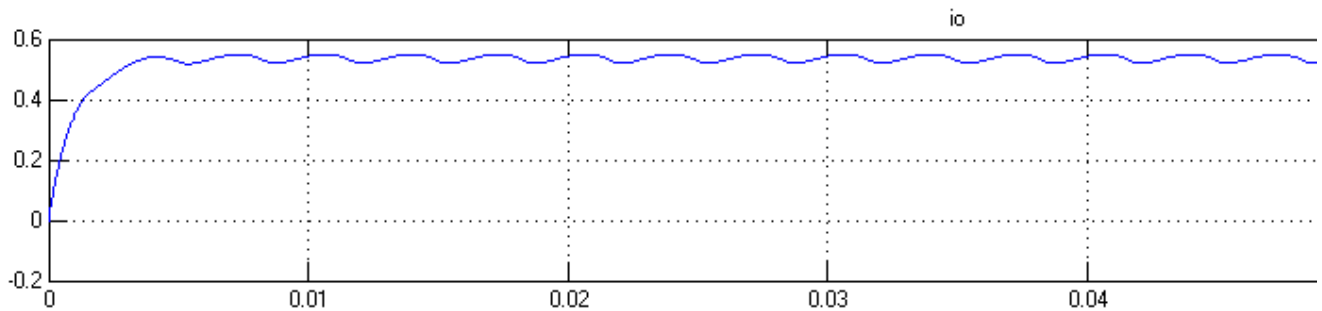
Η επαγωγή του πηνίου είναι μεγάλη (π.χ. 1H).



Εικ. 6.16: u_1, u_2, u_3 . Η τριφασική πηγή τάσης.



Εικ. 6.17: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RL .



Εικ. 6.18: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RL

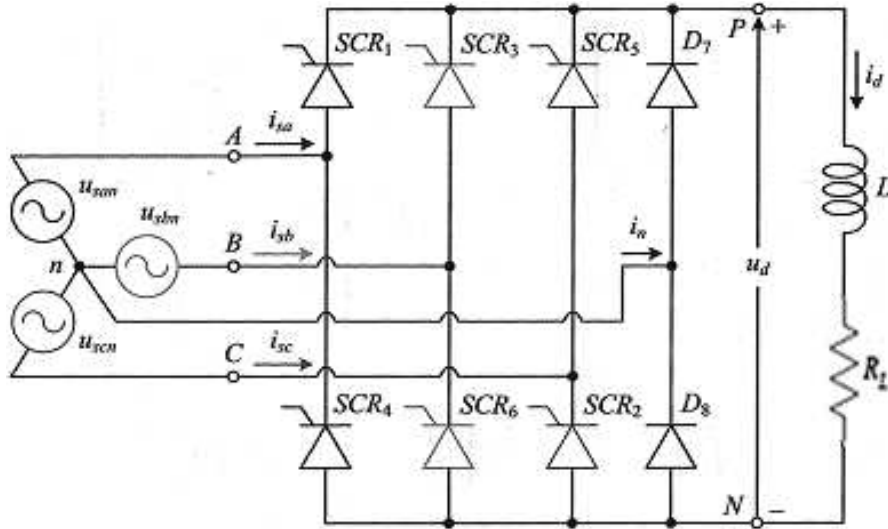
Παρατηρήσεις

Όσο μεγαλώνει η επαγωγή το ρεύμα εξόδου τείνει να γίνει σταθερό ενώ η τάση εξόδου είναι σταθερή.

Σχετικά με τις διόδους: Η D_1 άγει όταν η u_1 είναι θετικότερη από τις u_2, u_3 . Αντίστοιχα, η D_3 άγει όταν η u_2 είναι θετικότερη από τις u_1, u_3 και η D_5 άγει όταν η u_3 είναι θετικότερη από τις u_1, u_2 . Για τις διόδους των αρνητικών ημιπεριόδων ισχύει: η D_4 άγει όταν η u_1 είναι αρνητικότερη από τις u_2, u_3 . Αντίστοιχα, η D_6 άγει όταν η u_2 είναι αρνητικότερη από τις u_1, u_3 και η D_2 άγει όταν η u_3 είναι αρνητικότερη από τις u_1, u_2 .

Για τα ρεύματα των διόδων ισχύει το αντίθετο από τις τάσεις. Γενικά όταν η διάδος άγει η τάση της είναι 0 και διαρρέεται από ρεύμα. Όταν η διάδος δεν άγει και έχει τάση στα άκρα της το ρεύμα της είναι 0.

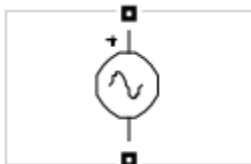
7. Τριφασικός μετατροπέας γέφυρας τεσσάρων σκελών



Εικ. 7.1

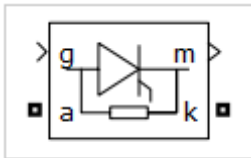
Ο τριφασικός μετατροπέας γέφυρας με SCR (Εικ. 7.1) μας επιτρέπει να ελέγχουμε την έξοδο μεταβάλλοντας την γωνία έναυσης των SCR.

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα



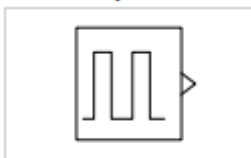
AC Voltage Source

- Τρεις εναλλασσόμενες πηγές τάσης
[*SimPowerSystems > Electrical Sources > AC Voltage Source*]



Thyristor

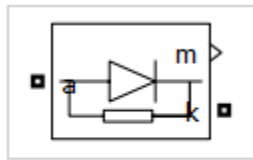
- Έξι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου (SCR, thyristors)
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Thyristor*]



Pulse Generator

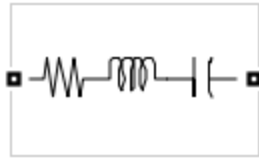
- Έξι γεννήτριες παλμών για σκανδαλισμό των SCR
[*Simulink > Sources > Pulse Generator*]

Εικ. 7.2



Diode

- Δύο δίοδοι
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Diode*]



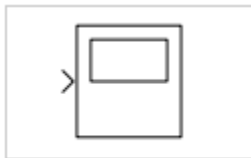
Series RLC Branch

- Ωμική αντίσταση και πηνίο
[*SimPowerSystems > Elements > Series RLC Branch*]



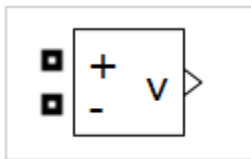
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems > Elements > Ground*]



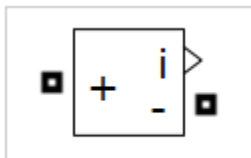
Scope

- Παλμογράφος για απεικόνιση τάσης και ρεύματος
[*Simulink > Sinks > Scope*]



Voltage Measurement

- Ειδικά blocks για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems > Measurements > Voltage Measurement*]
και για μέτρηση και απεικόνιση ρεύματος



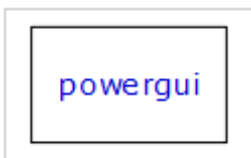
Current Measurement

- [*SimPowerSystems > Measurements > Current Measurement*]



Mux

- Πολυπλέκτες, για συνδυασμό σημάτων στον παλμογράφο
[*Simulink > Signal Routing > Mux*]



powergui

- Το block *powergui* για την προσομοίωση
[*SimPowerSystems > powergui*]

Εικ. 7.3

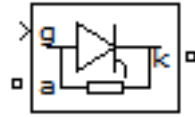
Διαδικασία σχεδίασης

Εισάγονται τα blocks στο κύκλωμα σύμφωνα με τις παρακάτω οδηγίες.

AC Voltage Source: Οι πηγές u_1 , u_2 , u_3 έχουν ίδιο πλάτος (*Peak amplitude* (V): **230*sqrt(2)**), ίδια συχνότητα (*Frequency* (Hz): **50**) και διαφορά φάσης 120° η μία από την άλλη. Για την u_1 εισάγουμε στο πεδίο *Phase* (deg): **0**, για την u_2 **-120** και για την u_3 **120**. Έτσι, η u_1 προηγείται κατά 120° σε σχέση με την u_2 , και η u_3 προηγείται κατά 120° σε σχέση με την u_1 .



Thyristor: Τα έξι SCR τοποθετούνται σε σχηματισμό γέφυρας σχηματίζοντας τρία σκέλη, δύο SCR ανά πηγή, σύμφωνα με το κυκλωματικό διάγραμμα.



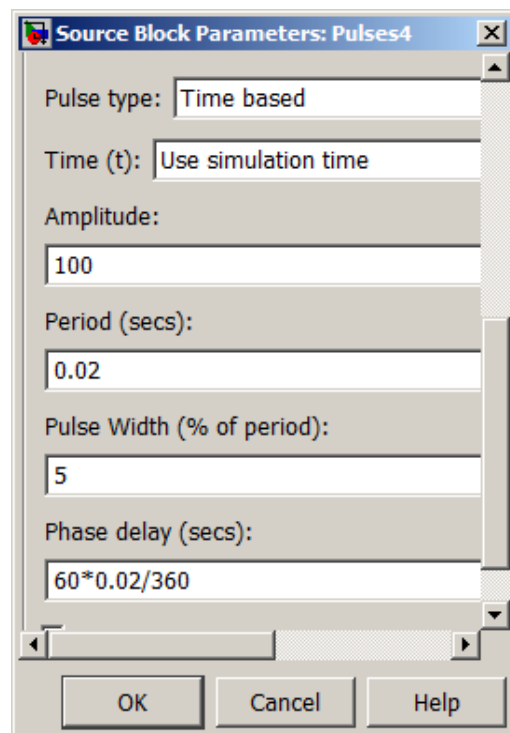
Diode: Ένα τέταρτο σκέλος δημιουργείται από τις δύο διόδους. Πρέπει να δοθεί προσοχή κατά την ονομασία των blocks.



Τοποθετούνται γεννήτριες παλμών σε κάθε SCR. Οι παλμοί θα εμφανίζονται σε τέτοιο σημείο σε σχέση με την πηγή (στην οποία αντιστοιχεί κάθε SCR) ώστε το SCR να άγει από μια συγκεκριμένη γωνία έναυσης παλμών.



Στο πλάτος (*Amplitude*) δίνουμε έστω **100**, (Εικ. 7.4) ώστε οι παλμοί να είναι ορατοί στον παλμογράφο όταν η γεννήτρια συνδεθεί στους ίδιους άξονες με τις πηγές AC. Μπορούμε να δώσουμε σε κάθε γεννήτρια διαφορετικό πλάτος, π.χ. στην πρώτη **100**, στην δεύτερη **125**, στην τρίτη **150** Volts κ.ο.κ. Έτσι θα ξεχωρίζουν μεταξύ τους στις γραφικές παραστάσεις.



Εικ. 7.4

Στο πεδίο *Period* (secs) εισάγουμε την περίοδο σε seconds. Δηλώνουμε και για τις τρεις γεννήτριες **0.02** (ή **1/50**).

Ο κύκλος εργασίας (*Pulse Width (% of period)*) δηλώνει το ποσοστό των παλμών που είναι θετικό, σε αντίθεση με το υπόλοιπο που είναι 0. Δίνουμε έστω την τιμή **5**, για τους SCR_1 , SCR_3 , SCR_5 και **3** για τους SCR_4 , SCR_6 , SCR_2 .

Από το πεδίο *Phase delay* (secs) ρυθμίζεται η γωνία έναυσης των παλμών. Κάθε SCR θα άγει με γωνία έναυσης 60° σε σχέση με την θετική ημιπερίοδο της πηγής που αντιστοιχεί. Άρα, λόγω των διαφορετικών θέσεων που έχουν μεταξύ τους, στο πεδίο θα

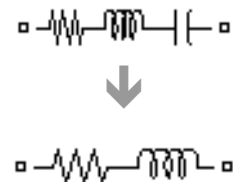
εισάγουμε διαφορετικές τιμές για κάθε SCR που όλες όμως θα έχουν σαν αποτέλεσμα ο συγκεκριμένος SCR να άγει στις 60°.

Για τον SCR₁ θα εισάγουμε στην παλμογεννήτριά του *Phase delay (secs)*: **60*0.02/360**, όπου 60 η γωνία έναυσης, 0.02 η περίοδος της τριφασικής πηγής, 360 μια περίοδος σε μοίρες.

Από το πεδίο *Phase delay (secs)* θα οριστεί επίσης, εκτός από την γωνία έναυσης, και η διαφορά φάσης κάθε γεννήτριας ώστε να βρίσκεται σε συμφωνία με την αντίστοιχη πηγή AC. Μαζί με την τιμή που αντιστοιχεί στην γωνία έναυσης θα προστεθεί στην δεύτερη γεννήτρια παλμών (για τον SCR₃) μια καθυστέρηση $T/3$ (όπου T η περίοδος), δηλαδή *Phase delay (secs)*: **(0.02/3) + (60*0.02/360)** και στην τρίτη γεννήτρια (SCR₅) μια καθυστέρηση $2T/3$, δηλαδή *Phase delay (secs)*: **(2*0.02/3) + (60*0.02/360)**.

Για τους SCR που άγουν κατά τις αρνητικές ημιπεριόδους στη γωνία 60° θα προστεθούν 180° (ώστε η γωνία να μεταφερθεί στην αρνητική ημιπερίοδο). Επίσης, για τους SCR₆ και SCR₂ ισχύουν και οι καθυστερήσεις των SCR₃ και SCR₅ που αναφέρονται στις 120° που έχουν διαφορά οι πηγές AC. Άρα στα πεδία *Phase delay (secs)* ορίζουμε για τους παλμούς του SCR₄ **(60+180)*0.02/360**, για τους παλμούς του SCR₆ **(0.02/3) + ((60+180)*0.02/360)**, για τους παλμούς του SCR₂ **(2*0.02/3) + ((60+180)*0.02/360)**

Series RLC Branch: Θα χρησιμοποιήσουμε αυτό το block ως φορτίο RL. Με διπλό κλικ ορίζουμε τις παραμέτρους. *Branch type: RL*, *Resistance R (Ohms): 1000*, *Inductance L (H): 1* (ισχυρό πηνίο).

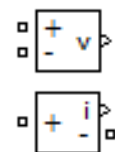


Το block παίρνει μορφή RL σε συνδεσμολογία σειράς

Scope: Με διπλό κλικ και *Parameters* δηλώνουμε πόσους άξονες θέλουμε σε κάθε παλμογράφο. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πάνω από έναν.



Οι μετρητές τάσης (*Voltage Measurement*) και ρεύματος (*Current Measurement*) θα παρεμβάλλονται μεταξύ των σημείων μέτρησης και των εισόδων του παλμογράφου.

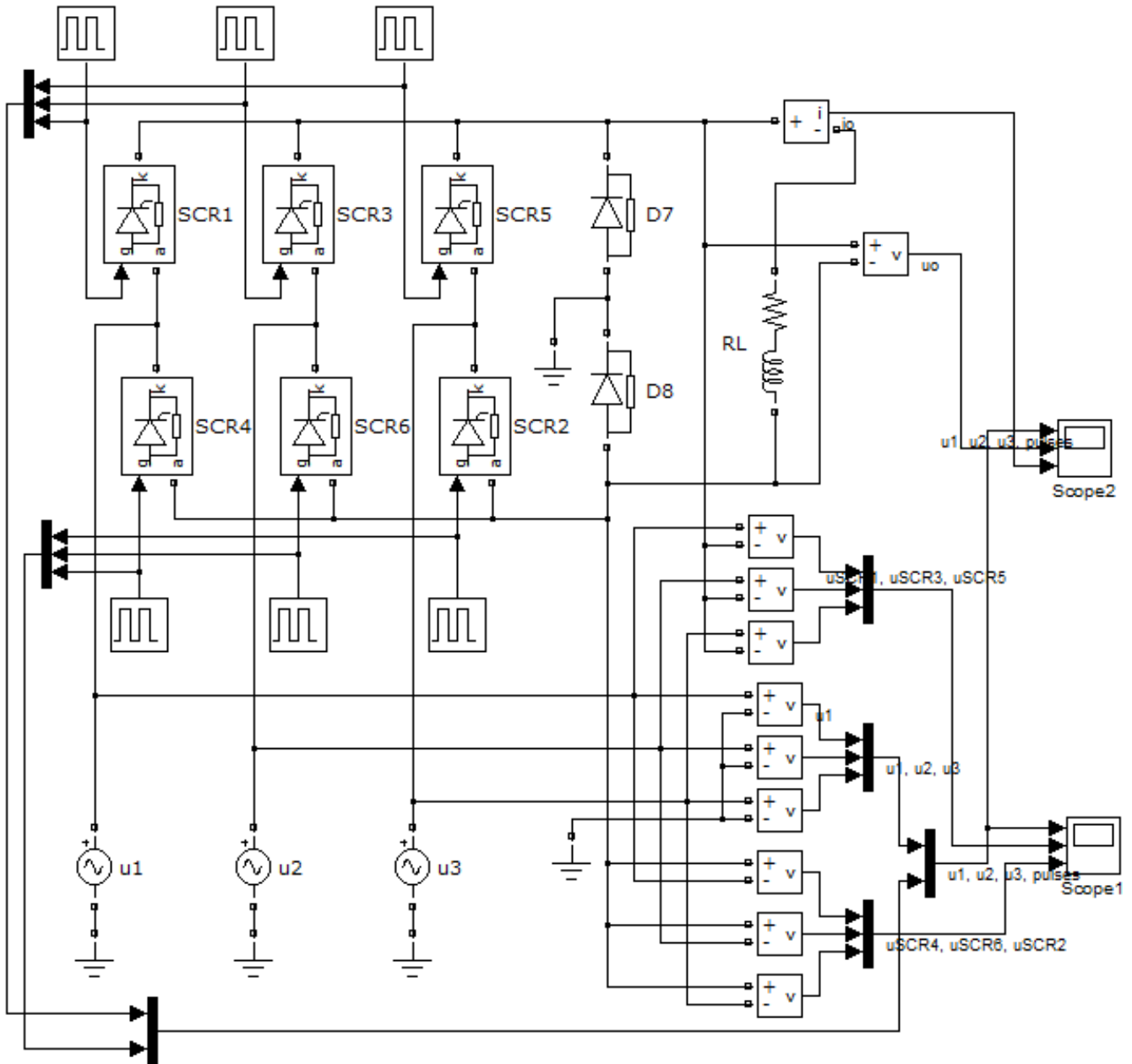


Mux: Ο πολυπλέκτης θα χρησιμοποιηθεί για να συνδυαστούν πάνω από ένα σήμα σε ένα κανάλι του παλμογράφου. Με διπλό κλικ στο block δηλώνουμε τον αριθμό εξόδων του.



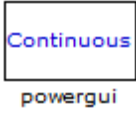
Στη συνέχεια συνδέουμε τα blocks μεταξύ τους και τοποθετούμε γειώσεις (*Ground*) όπου χρειάζονται.

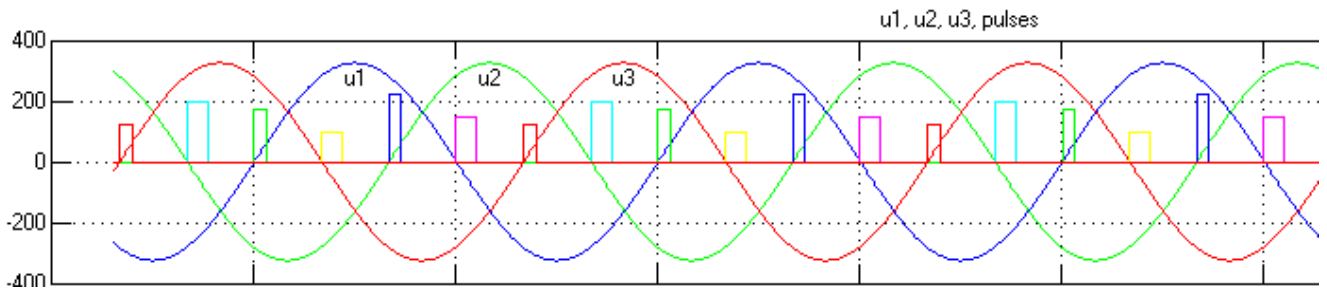




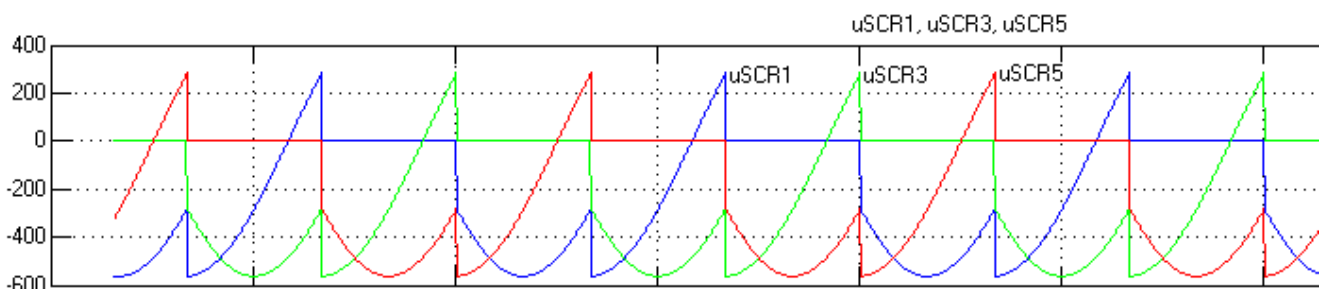
Εικ. 7.5

Προσομοίωση

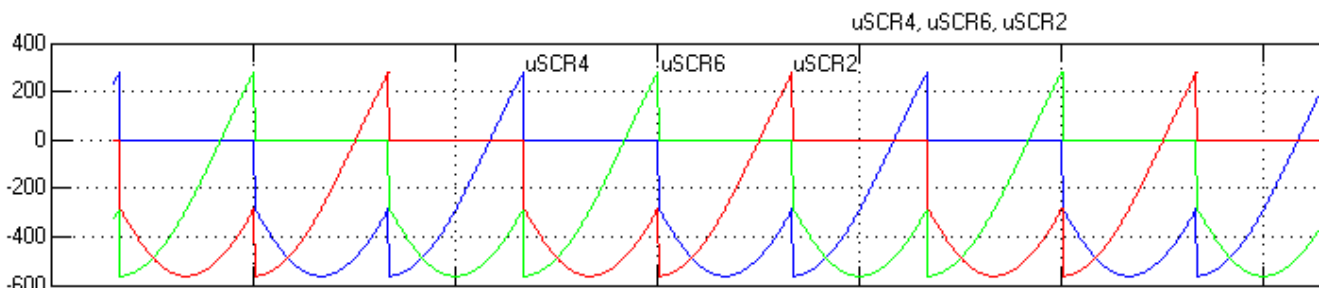
Κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις πριν την έναρξη της προσομοίωσης. Εισάγουμε το block *powergui*. Από το μενού *Simulation >*  επιλέγουμε *Stop time: 1.0* και *Solver: ode23tb (stiff/TR-BD2)*.



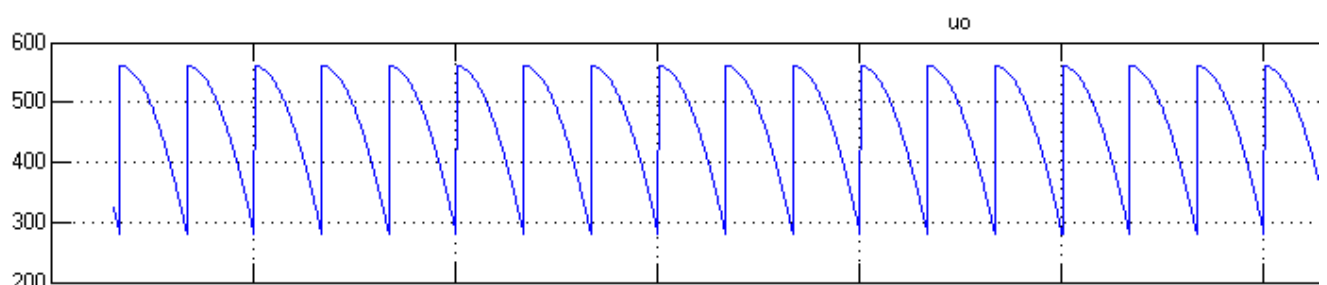
Εικ. 7.6: u_1, u_2, u_3 pulses. Η τριφασική πηγή (μπλε u_1 , πράσινο u_2 , κόκκινο u_3) και οι παλμοί από τις έξι παλμογεννήτριες.



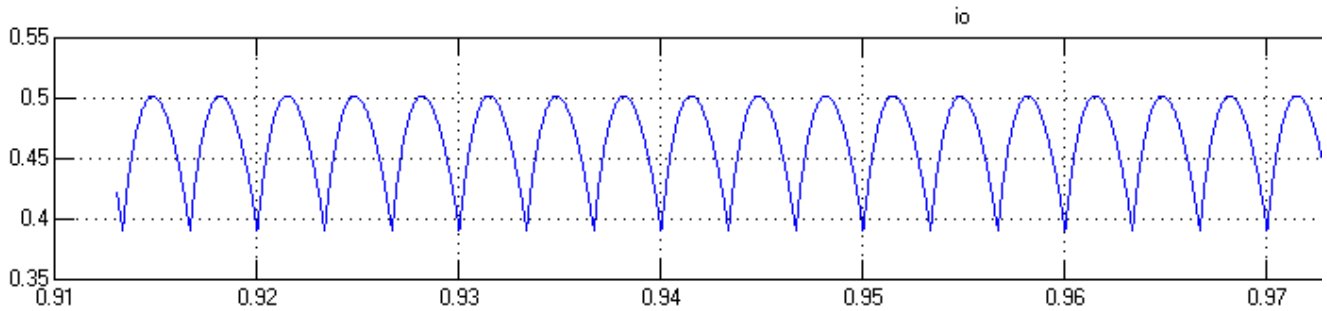
Εικ. 7.7: $u_{SCR1}, u_{SCR3}, u_{SCR5}$. Οι τάσεις στα άκρα των SCR_1, SCR_3, SCR_5 . Η μπλε κυματομορφή αντιστοιχεί στον SCR_1 , η πράσινη στον SCR_3 , η κόκκινη στον SCR_5 . Ξεκινούν να άγουν μετά τις 60° της πηγής.



Εικ. 7.8: $u_{SCR4}, u_{SCR6}, u_{SCR2}$. Οι τάσεις στα άκρα των SCR_4 (μπλε), SCR_6 (πράσινη), SCR_2 (κόκκινη). Ξεκινούν να άγουν μετά τις $60^\circ + 180^\circ$ της πηγής.



Εικ. 7.9: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του RL φορτίου.



Εικ. 7.10: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το RL φορτίο.

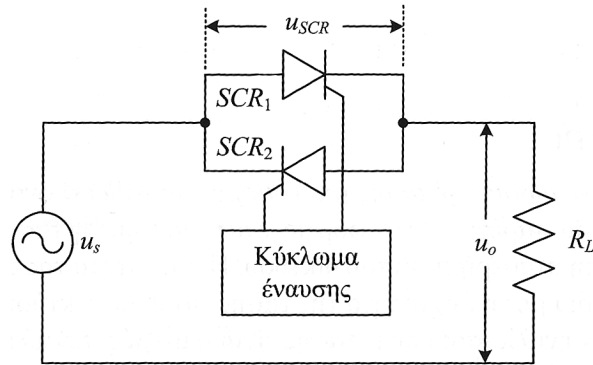
Παρατηρήσεις

Μέσω της γωνίας έναυσης ελέγχεται η έξοδος. Εισάγοντας μικρότερη γωνία οι SCR άγουν για περισσότερο και μεταφέρεται μεγαλύτερο ρεύμα στην έξοδο.

Η τάση εξόδου (Εικ. 7.9) έχει μια κυμάτωση συχνότητας εξαπλάσια της συχνότητας του δικτύου (Εικ. 7.6). Γι'αυτό και ο τριφασικός μετατροπέας γέφυρας χαρακτηρίζεται ως μετατροπέας έξι παλμών (*six-pulse converter*).

Επίσης, το ισχυρό πηνίο προκαλεί εξομάλυνση του i_o (Εικ. 7.10).

8. Μονοφασικός ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης



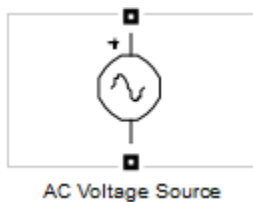
Εικ. 8.1

Μέσω του ρυθμιστή εναλλασσόμενης τάσης της Εικόνας 8.1 έχουμε στην έξοδο εναλλασσόμενη τάση με ρυθμιζόμενο πλάτος και ίδιας συχνότητας με την τάση της πηγής.

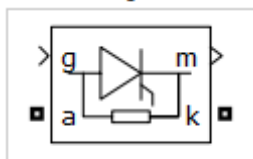
Ένα απλό κύκλωμα ρυθμιστή αποτελείται από δύο *SCR* συνδεδεμένα παράλληλα και αντίθετα μεταξύ τους (η άνοδος του ενός με την κάθοδο του άλλου) σε σειρά με την AC πηγή και το ωμικό φορτίο. Οι πύλες των *SCR* βραχυκυκλώνονται μεταξύ τους για κοινό παλμό σκανδαλισμού. Αυτή η συνδεσμολογία των *SCR* αποτελεί το *TRIAC*.

Δίνοντας κατάλληλους παλμούς ρυθμίζουμε ώστε ο *SCR*₁ να άγει σε ένα τμήμα της θετικής ημιπεριόδου και ο *SCR*₂ αντίστοιχα σε τμήμα της αρνητικής ημιπεριόδου. Έτσι επιτυγχάνεται έλεγχος 100% της τάσης εξόδου (φασικός έλεγχος ισχύος).

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα



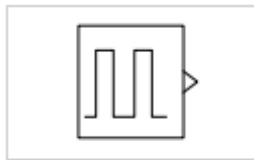
AC Voltage Source



Thyristor

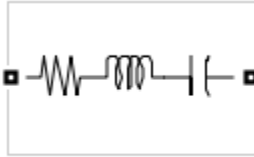
Εικ. 8.2

- Εναλλασσόμενη πηγή τάσης
[*SimPowerSystems* > *Electrical Sources* > *AC Voltage Source*]
- Δύο ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου (*SCR*, thyristor)
[*SimPowerSystems* > *Power Electronics* > *Thyristor*]



Pulse Generator

- Γεννήτρια παλμών για σκανδαλισμό των SCR
[*Simulink > Sources > Pulse Generator*]



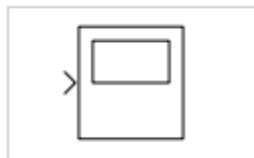
Series RLC Branch

- Ωμική αντίσταση
[*SimPowerSystems > Elements > Series RLC Branch*]



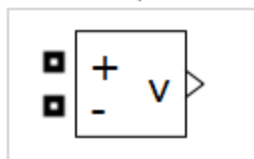
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems > Elements > Ground*]



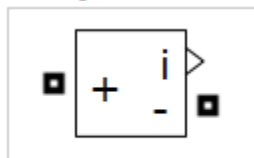
Scope

- Παλμογράφος για απεικόνιση τάσης και ρεύματος
[*Simulink > Sinks > Scope*]



Voltage Measurement

- Ειδικά blocks για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems > Measurements > Voltage Measurement*]
και για μέτρηση και απεικόνιση ρεύματος



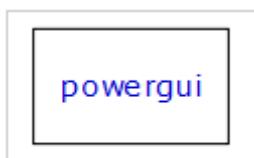
Current Measurement

- [*SimPowerSystems > Measurements > Current Measurement*]



Mux

- Πολυπλέκτης για συνδυασμό σημάτων στον παλμογράφο
[*Simulink > Signal Routing > Mux*]



powergui

- Το block *powergui* για την προσομοίωση
[*SimPowerSystems > powergui*]

Εικ. 8.3

Διαδικασία σχεδίασης

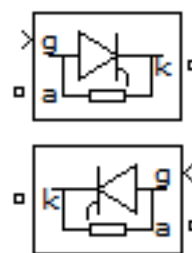
Εισάγουμε τα blocks (Εικ. 8.2, 8.3) στο κύκλωμα. Παρακάτω δίνονται οδηγίες για ορισμένα blocks.

AC Voltage Source: Με δεξί κλικ επιλέγουμε *Mask parameters...* Στο πεδίο *Peak amplitude (V)* εισάγουμε $230*\sqrt{2}$ και στο πεδίο *Frequency (Hz)* **50**.

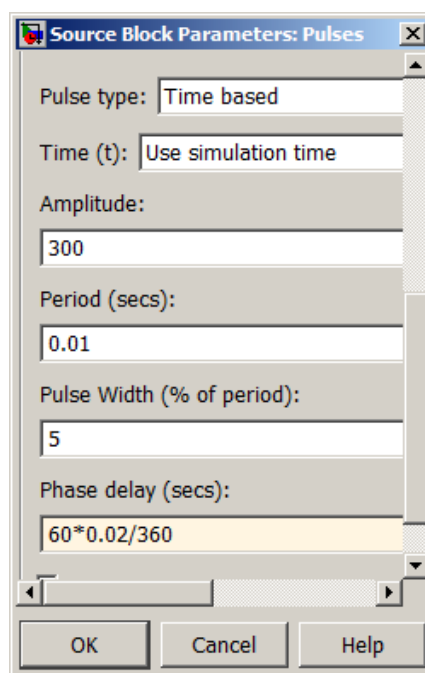


Thyristor: Εισάγουμε δύο SCR στο κύκλωμα και τα τοποθετούμε παράλ-

ληλα και με αντίθετη φορά το ένα από το άλλο. Η άνοδος του SCR₁ θα συνδεθεί με την πηγή AC και η κάθοδος του με το φορτίο R. Αντίστοιχα, η κάθοδος του SCR₂ θα συνδεθεί με την πηγή AC (και την άνοδο του SCR₁) και η άνοδος του με το φορτίο R (και την κάθοδο του SCR₁). Έτσι, ο SCR₁ θα άγει μόνο στην θετική ημιπερίοδο του σήματος της πηγής και ο SCR₂ θα άγει μόνο στην αρνητική ημιπερίοδο. Οι ακίδες g (πύλες) θα βραχυκυκλωθούν και θα συνδεθούν με την γεννήτρια παλμών.



Pulse Generator: Η γεννήτρια παλμών συνδέεται στην κοινή πύλη (g) των SCR. Με διπλό κλικ ανοίγει το παράθυρο διαλόγου των παραμέτρων της (Εικ. 8.4). Ως πλάτος θέτουμε *Amplitude:* π.χ. **300** και εύρος παλμών *Pulse Width (% of period):* π.χ. **5**.

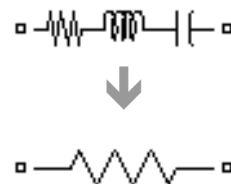


Εικ. 8.4

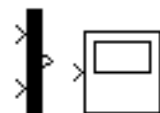
Οι παραγόμενοι παλμοί πρέπει να σκανδαλίζουν και τα δύο SCR. Το SCR₁ άγει κατά την θετική ημιπερίοδο και το SCR₂ κατά την αρνητική. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να εμφανίζονται παλμοί και στις δύο ημιπεριόδους, δύο φορές δηλαδή σε μια περίοδο του σήματος της πηγής u_s , άρα η παλμογεννήτρια θα έχει την μισή περίοδο της u_s (ή διπλάσια συχνότητα). Οπότε στο πεδίο *Period (secs)* εισάγουμε **0.01**.

Στο πεδίο *Phase delay (secs)* ορίζουμε τον χρόνο εκκίνησης των παλμών. Για παλμούς που ξεκινούν έστω στις 60° εισάγουμε *Phase delay (secs):* $60*0.02/360$, όπου 0.02 (seconds) είναι η περίοδος της u_s (να μην γίνεται σύγχυση με την περίοδο της παλμογεννήτριας) και 360 είναι μια περίοδος σε μοίρες. Το αποτέλεσμα είναι εμφάνιση παλμού στις 60° και στις 240° (60° + 180°) σε σχέση με την u_s .

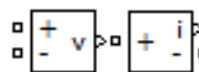
Series RLC Branch: Με διπλό κλικ ορίζουμε τις παραμέτρους του ωμικού φορτίου R . *Branch type*: R και *Resistance R (Ohms)*: έστω **1000**.



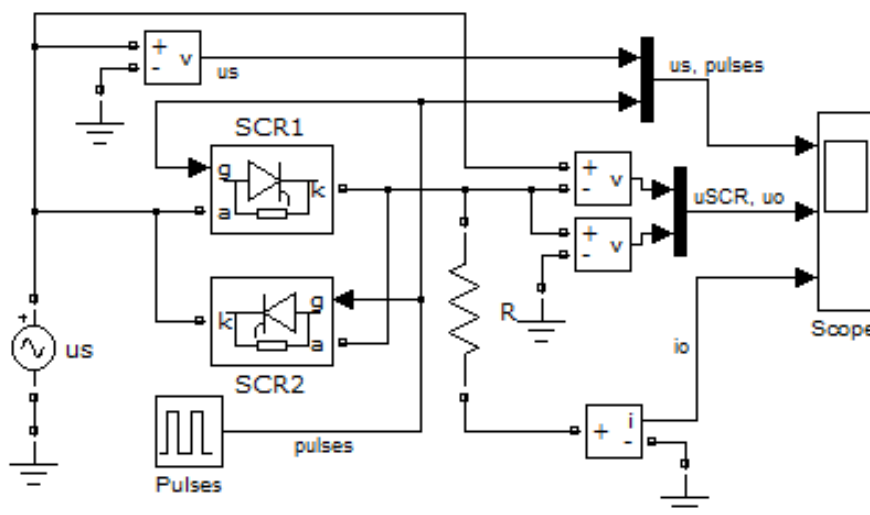
Scope: Ο παλμογράφος θα έχει τρεις εισόδους. Οπότε από τις παραμέτρους επιλέγουμε *Number of axes*: **3**. Στην πρώτη θα απεικονιστούν η πηγή u_s και οι παλμοί (*pulses*) μέσω πολυπλέκτη (*Mux*). Στην δεύτερη είσοδο η τάση στα άκρα των SCR (u_{SCR}) και η τάση στα άκρα του φορτίου R (u_o) μέσω πολυπλέκτη (*Mux*). Στην τρίτη το ρεύμα εξόδου i_o .



Μεταξύ των εισόδων του παλμογράφου και των σημείων μέτρησης τοποθετούμε τα blocks Voltage Measurement και Current Measurement.



Τέλος συνδέουμε τα block μεταξύ τους και τοποθετούνται σημεία γείωσης (Ground) όπου χρειάζονται.



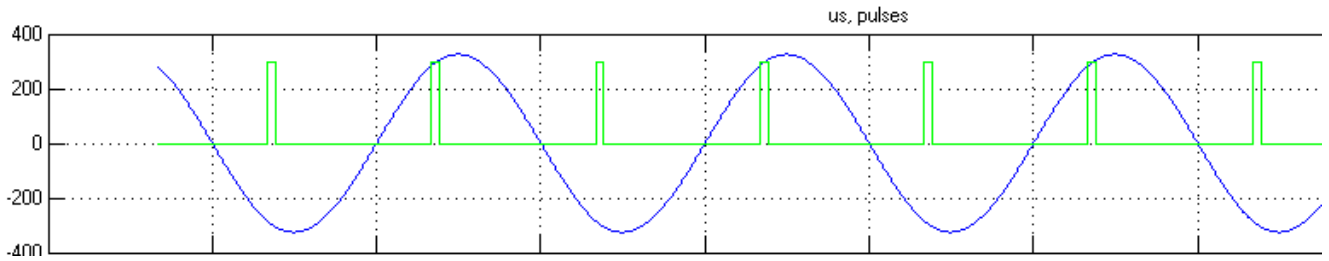
Εικ. 8.5

Προσομοίωση

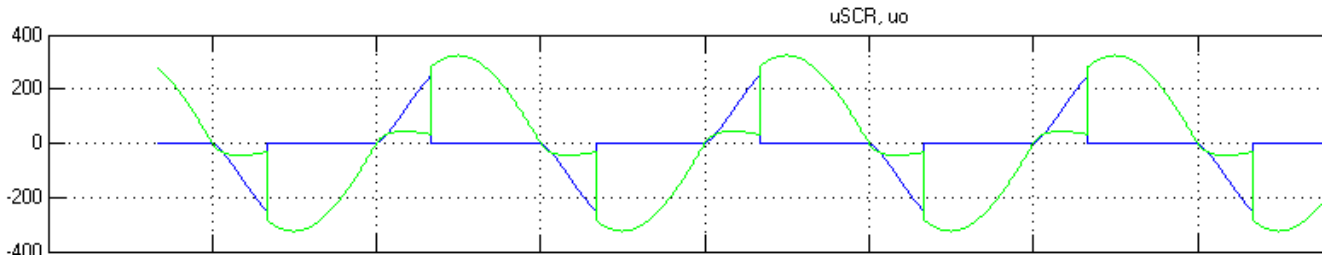
Έχοντας κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις (*powergui* και *Configuration Parameters... Stop time*: π.χ. **1.0** και *Solver*: *ode23tb (stiff/TR-BD2)*) ξεκινάμε την προσομοίωση.

Πρώτη προσομοίωση:

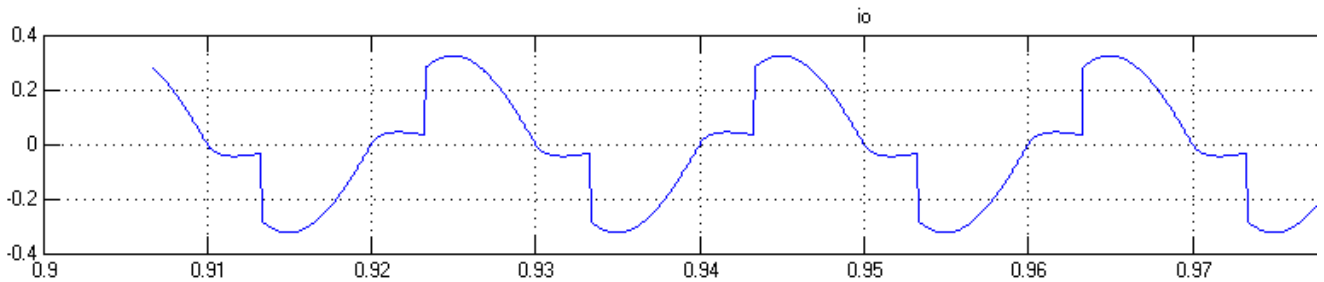
Γωνία έναυσης 60° : *Phase delay (secs)*: **$60 \cdot 0.02 / 360$** .



Εικ. 8.6: $u_s, pulses$. Η πηγή τροφοδοσίας AC και οι παλμοί.



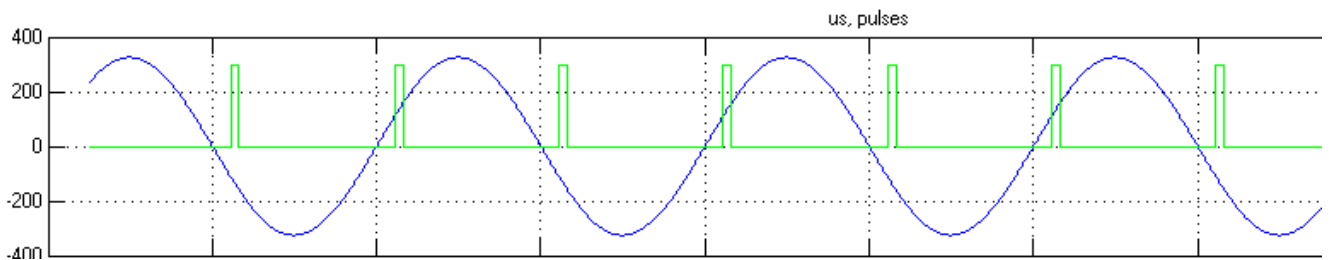
Εικ. 8.7: u_{SCR}, u_o . Η τάση στα άκρα των SCR (μπλε/σκουρόχρωμη) και η τάση του φορτίου R (πράσινη/ανοιχτόχρωμη).



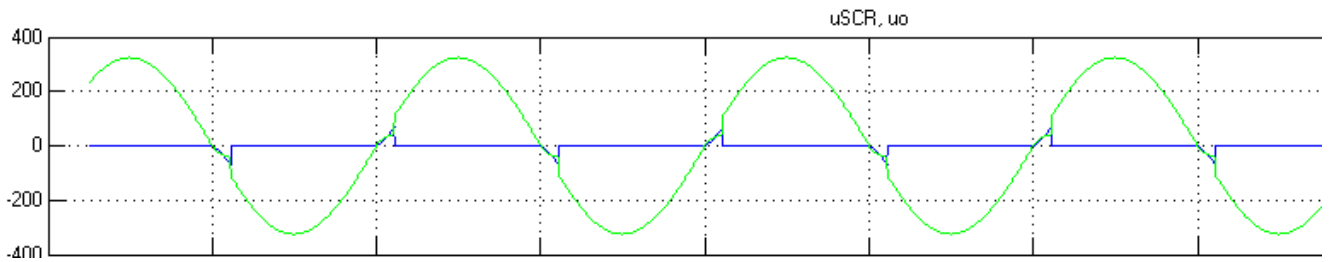
Εικ. 8.8: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει την R .

Δεύτερη προσομοίωση:

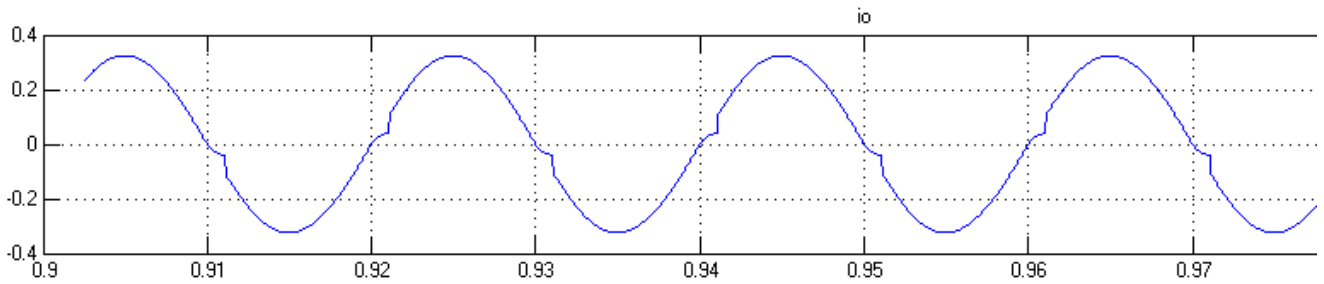
Γωνία έναυσης 20° : *Phase delay (secs):* $20 \cdot 0.02 / 360$.



Εικ. 8.9: $u_s, pulses$. Η πηγή τροφοδοσίας AC και οι παλμοί.



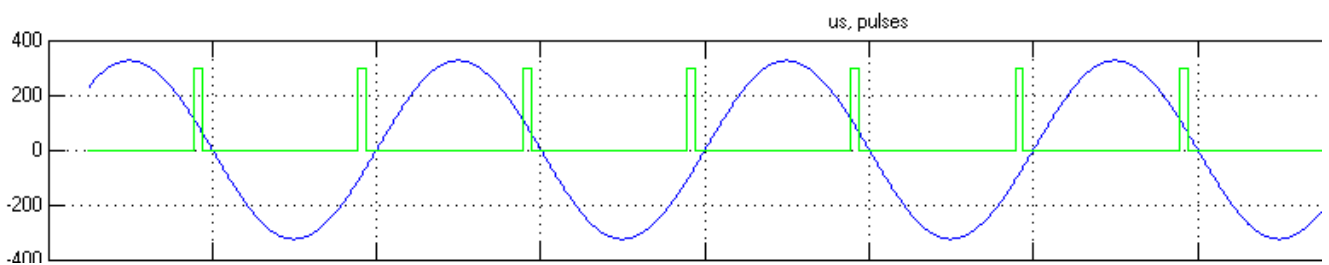
Εικ. 8.10: u_{SCR}, u_o : Η τάση στα άκρα των SCR (μπλε/σκουρόχρωμη) και η τάση του φορτίου R (πράσινη/ανοιχτόχρωμη).



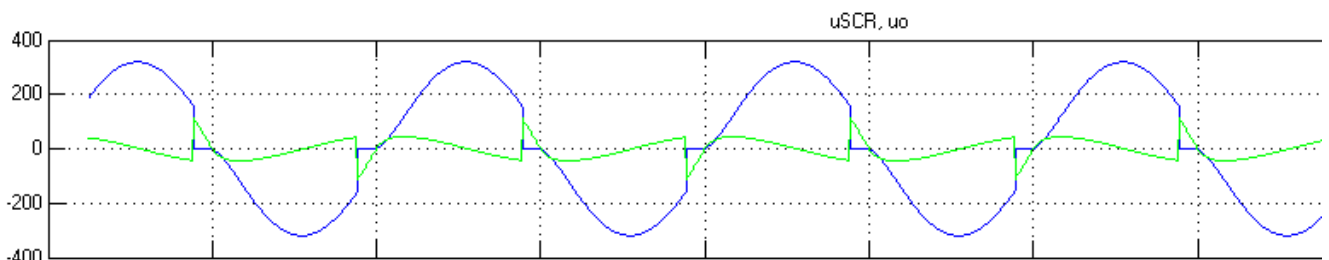
Εικ.8.11: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει την R .

Τρίτη προσομοίωση:

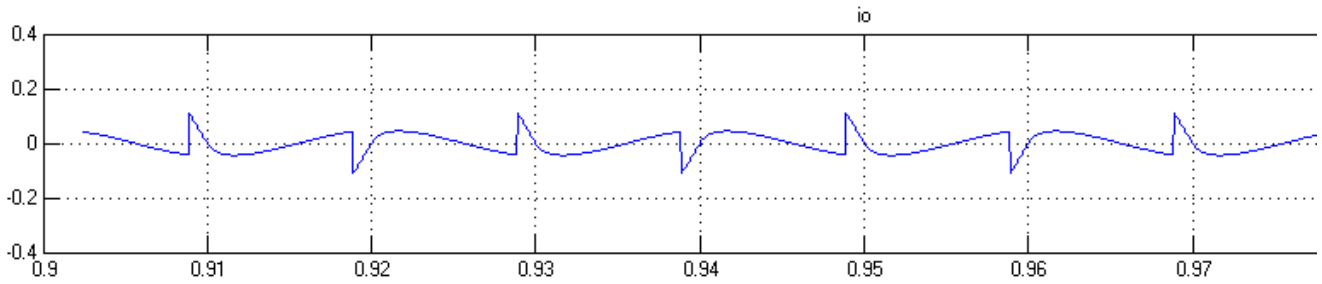
Γωνία έναυσης 160° : *Phase delay (secs):* $160 \cdot 0.02 / 360$.



Εικ. 8.12: $u_s, pulses$. Η πηγή τροφοδοσίας AC και οι παλμοί.



Εικ. 8.13: u_{SCR}, u_o . Η τάση στα άκρα των SCR (μπλε/σκουρόχρωμη) και η τάση του φορτίου R (πράσινη/ανοιχτόχρωμη).

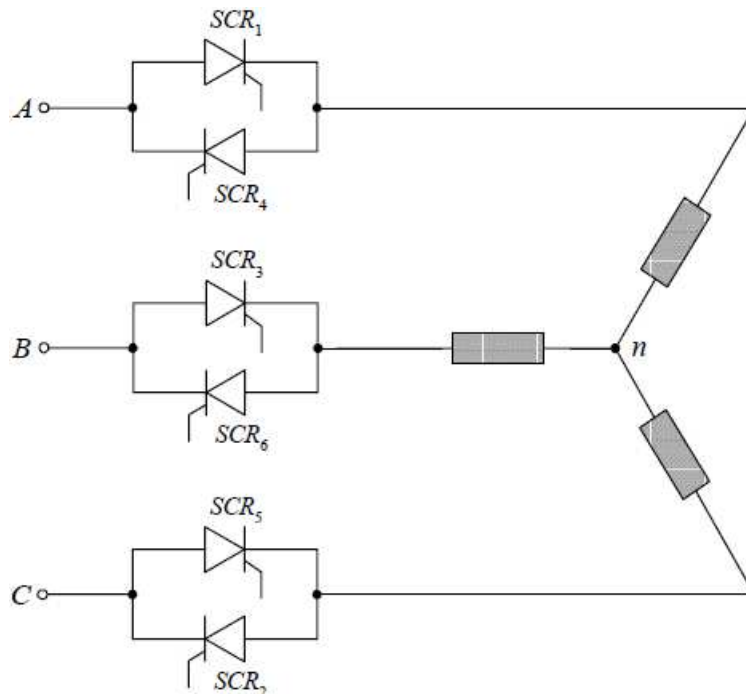


Εικ. 8.14: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει την R (μειώνεται με μεγάλη γωνία έναυσης).

Παρατηρήσεις

Μικρότερη γωνία έναυσης σημαίνει ότι οι SCR ξεκινούν να άγουν νωρίτερα και σαν αποτέλεσμα η τάση και το ρεύμα εξόδου αυξάνονται. Αντίστοιχα όσο μεγαλώνει η γωνία έναυσης η τάση και το ρεύμα ελαττώνονται. Για γωνία έναυσης $\alpha = 0^\circ$ η τάση στο φορτίο είναι μέγιστη, ενώ όταν η α τείνει στις 180° είναι ελάχιστη.

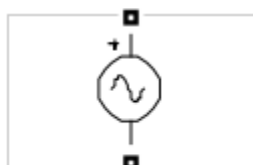
9. Τριφασικός ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης



Εικ. 9.1

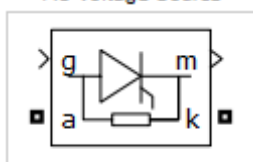
Ο τριφασικός ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης αποτελείται από το συνδυασμό τριών μονοφασικών ρυθμιστών. Στην Εικόνα 9.1 παρουσιάζεται ένας ρυθμιστής με φορτίο σε σύνδεση αστέρα.

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα



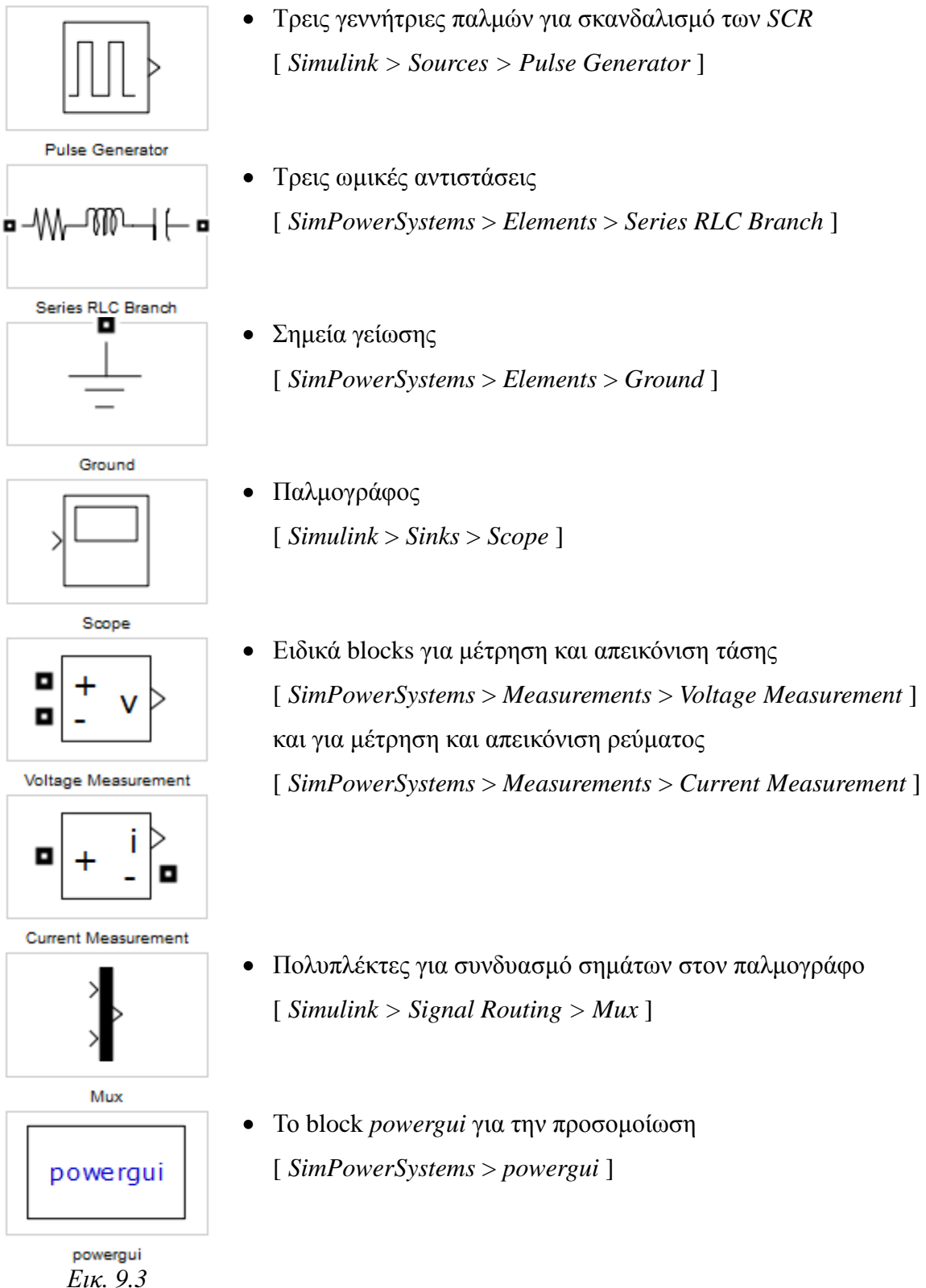
AC Voltage Source

- Τρεις εναλλασσόμενες πηγές τάσης
[*SimPowerSystems > Electrical Sources > AC Voltage Source*]



Thyristor
Εικ. 9.2

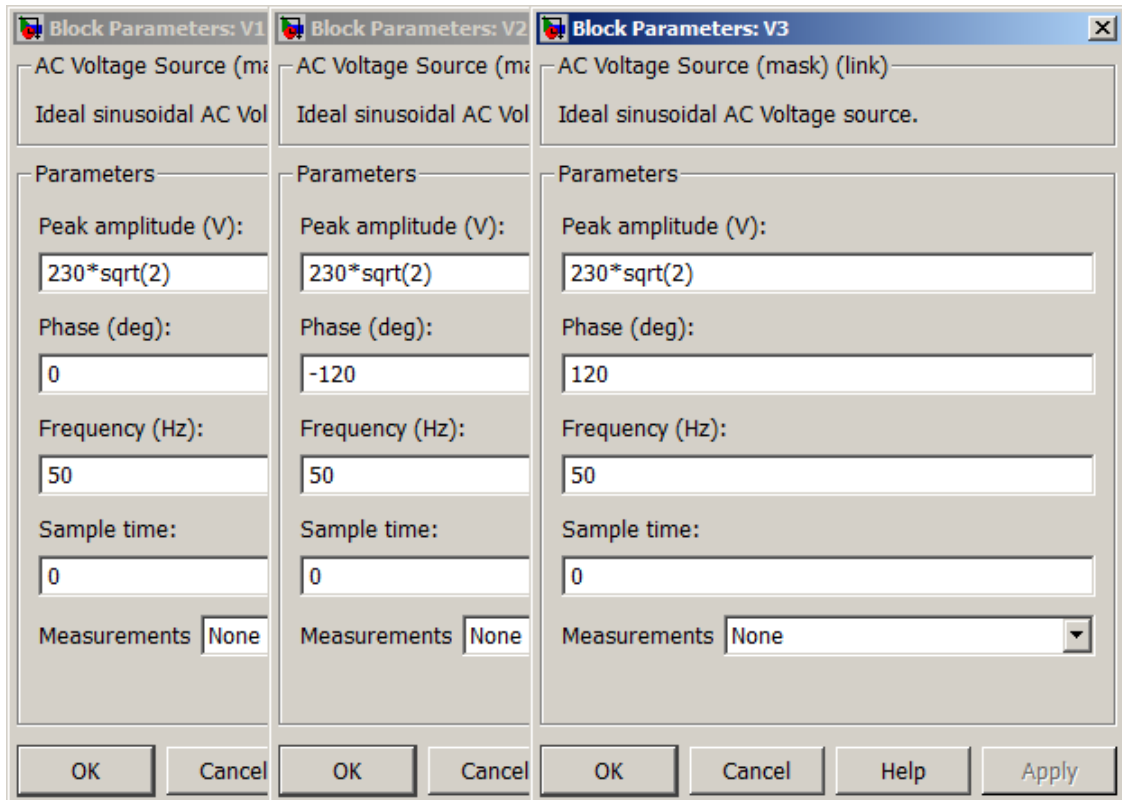
- Έξι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου (SCR, thyristor)
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Thyristor*]



Διαδικασία σχεδίασης

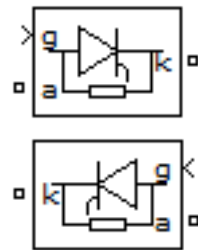
Εισάγουμε τα blocks στο κύκλωμα. Δίνονται οδηγίες για ορισμένα blocks.

AC Voltage Source: Το block θα χρησιμοποιηθεί τρεις φορές. Η πρώτη AC πηγή (u_1) θα έχει ίδιες παραμέτρους όπως στο πρώτο κύκλωμα (*Peak amplitude* (V): $230*\sqrt{2}$, *Frequency* (Hz): **50**). Η δεύτερη (u_2) και η τρίτη πηγή (u_3) θα διαφέρουν στο πεδίο *Phase* (deg), που αφορά την διαφορά φάσης σε μοίρες. Για την u_2 θέτουμε **-120** και για την u_3 **120**. Έτσι, η u_1 προηγείται κατά 120° σε σχέση με την u_2 , και η u_3 προηγείται κατά 120° σε σχέση με την u_1 . Σε μια περίοδο 360° οι πηγές ισαπέχουν ($360/3 = 120^\circ$) (Εικ. 9.4).



Εικ. 9.4

Thyristor: Τα έξι SCR θα τοποθετηθούν ως TRIAC ανά δύο παράλληλα και με αντίθετη φορά το ένα από το άλλο σχηματίζοντας τρεις κλάδους. Σε κάθε κλάδο το ένα άκρο ανόδου-καθόδου θα συνδεθεί με το θετικό άκρο της πηγής και το άλλο άκρο με ωμικό φορτίο. Οι πύλες (g) σε κάθε κλάδο βραχυκυκλώνονται και θα συνδεθούν με μια παλμογεννήτρια (συνολικά τρεις παλμογεννήτριες).



Pulse Generator: Οι γεννήτριες παλμών θα συνδεθούν στις κοινές πύλες των SCR (ακίδες g). Με διπλό κλικ ανοίγει το παράθυρο διαλόγου των παραμέτρων. Ως πλάτος θέτουμε *Amplitude*: π.χ. **100** για το πρώτο TRIAC (SCR₁-SCR₄) **150** για



τους SCR_3-SCR_6 , **200** για τους SCR_5-SCR_2 . Το διαφορετικό πλάτος εξυπηρετεί μόνο στο να ξεχωρίζουμε τους παλμούς στον παλμογράφο.

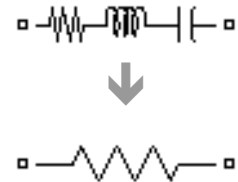
Στο πεδίο *Period (secs)* εισάγουμε **0.01** και για τις τρεις γεννήτριες. Εισάγοντας τη μισή περίοδο της πηγής διπλασιάζουμε την συχνότητα εμφάνισης των παλμών. Θα εμφανίζονται παλμοί δύο φορές, μια στην θετική και μια στην αρνητική ημιπερίοδο.

Θέτουμε εύρος παλμών *Pulse Width (% of period)*: π.χ. **5**.

Στο πεδίο *Phase delay (secs)* ορίζουμε τον χρόνο εκκίνησης των παλμών. Για παλμούς που ξεκινούν έστω στις 60° εισάγουμε στην πρώτη παλμογεννήτρια *Phase delay (secs)*: **$60 \cdot 0.02 / 360$** , όπου 0.02 (seconds) είναι η περίοδος της πηγής (να μην γίνεται σύγχυση με την περίοδο της παλμογεννήτριας) και 360 είναι μια περίοδος σε μοίρες. Το αποτέλεσμα είναι παλμός στις 60° και στις 240° ($60^\circ + 180^\circ$) σε σχέση με την πηγή u_1 .

Στην δεύτερη παλμογεννήτρια θα προστεθεί η διαφορά φάσης 120° που έχει η u_2 από την u_1 , άρα θέτουμε *Phase delay (secs)*: **$(0.02/3) + 60 \cdot 0.02 / 360$** . Αντίστοιχα, για την τρίτη παλμογεννήτρια *Phase delay (secs)*: **$(2 \cdot 0.02/3) + 60 \cdot 0.02 / 360$** .

Series RLC Branch: Θέτουμε για τις τρεις ωμικές αντιστάσεις *Branch type: R* και *Resistance R (Ohms)*: έστω **100**. Κάθε αντίσταση θα συνδεθεί με το ένα άκρο στον ελεύθερο ακροδέκτη του TRIAC (η R_A στα SCR_1-SCR_4 κ.ο.κ.). Το άλλο άκρο θα είναι στη γείωση.



Scope: Εισάγεται ο παλμογράφος. Με διπλό κλικ και *Parameters* εισάγουμε τον αριθμό καναλιών στο πεδίο *Number of axes*.



Ανάμεσα στα σημεία μέτρησης και των καναλιών του παλμογράφου παρεμβάλλουμε τα blocks Voltage Measurement και Current Measurement για τις τάσεις και τα ρεύματα αντίστοιχα.

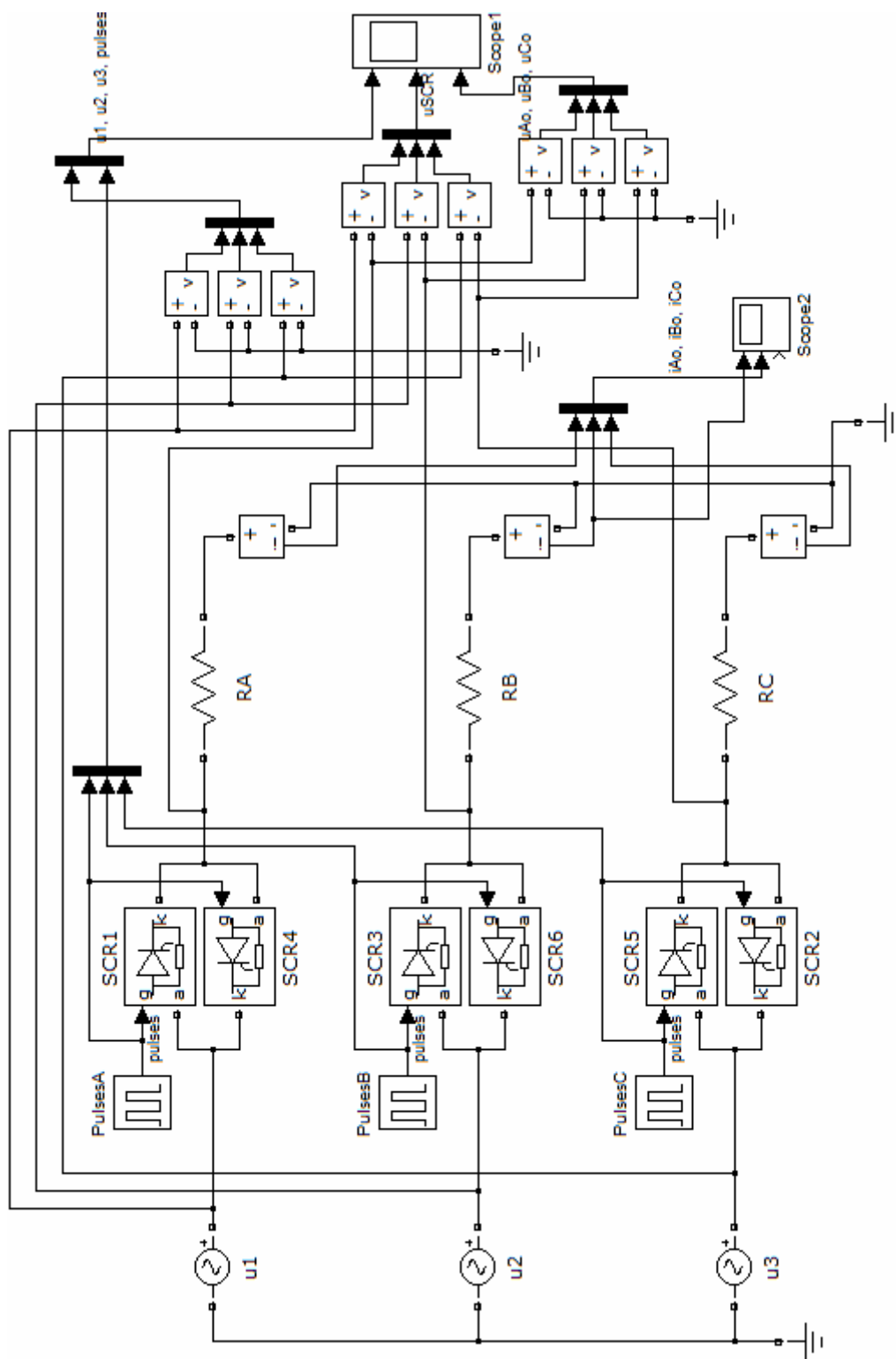


Με την χρήση πολυπλεκτών (Mux) μπορούμε να εισάγουμε πάνω από ένα σήμα σε ένα κανάλι του παλμογράφου. Με διπλό κλικ στο block του *Mux* ορίζουμε αριθμό εισόδων. Η έξοδος του οδηγείται σε ελεύθερο κανάλι του παλμογράφου.



Τέλος τοποθετούνται γειώσεις όπου είναι απαραίτητες και συνδέουμε τα blocks μεταξύ τους.

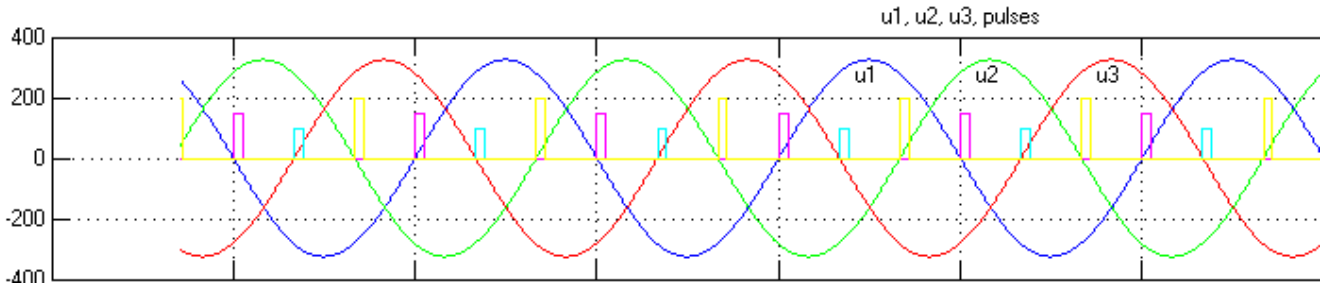
Το κύκλωμα ολοκληρώθηκε και θα πρέπει να μοιάζει με το παρακάτω (Εικ. 9.5).



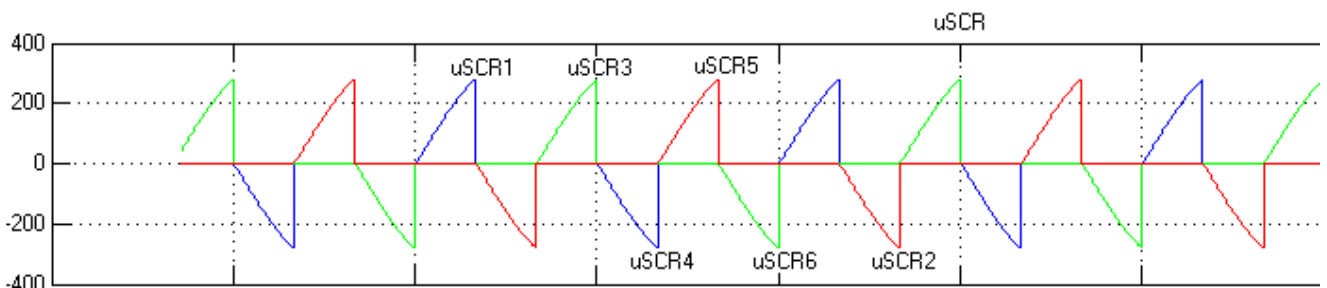
Εικ. 9.5

Προσομοίωση

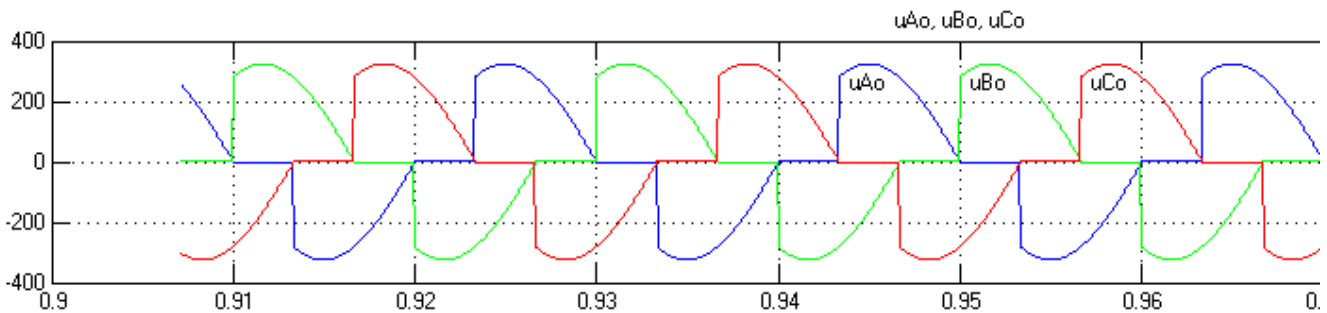
Έχοντας κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις (*powergui* και *Configuration Parameters...*) ξεκινάμε την προσομοίωση.



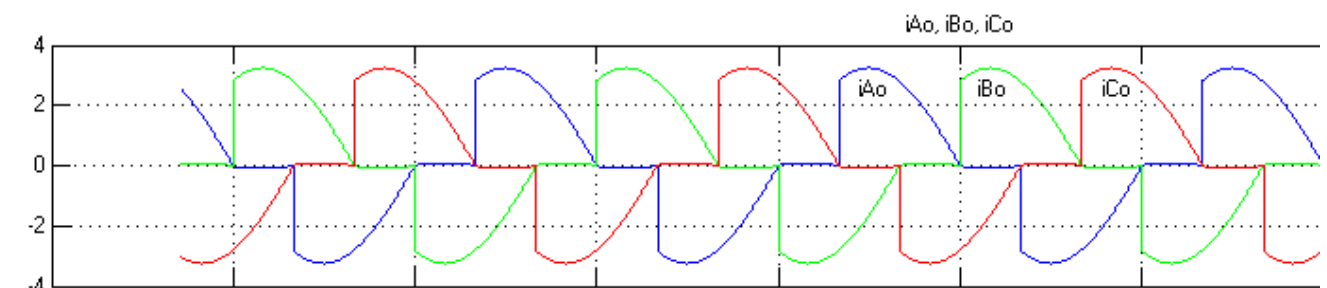
Εικ. 9.6: $u_1, u_2, u_3, pulses$. Οι τριφασική πηγή (μπλε u_1 , πράσινο u_2 , κόκκινο u_3) και οι παλμοί από τις τρεις παλμογεννήτριες.



Εικ. 9.7: u_{SCR} . Οι τάσεις στα άκρα των τριών ζευγών SCR. Η μπλε αντιστοιχεί στο ζεύγος SCR_1-SCR_4 , η πράσινη στο ζεύγος SCR_3-SCR_6 , η κόκκινη στο ζεύγος SCR_5-SCR_2 .



Εικ. 9.8: u_{Ao}, u_{Bo}, u_{Co} : οι τάσεις στα άκρα των φορτίων R_A, R_B, R_C αντίστοιχα.



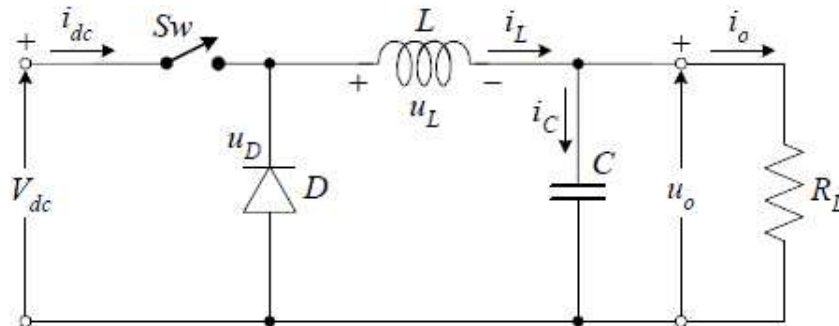
Εικ. 9.9: i_{Ao}, i_{Bo}, i_{Co} . Τα ρεύματα εξόδου που διαρρέουν τα φορτία R_A, R_B, R_C αντίστοιχα. Το μπλε ρεύμα διαρρέει την R_A , το πράσινο την R_B , το κόκκινο την R_C .

Παρατηρήσεις

Οι *SCR* δέχονται παλμούς έναυσης με τη σειρά αρίθμησής τους, με διαφορά φάσης 60° . Αυξάνοντας την γωνία έναυσης θα παρατηρήσουμε μείωση του ρεύματος και της τάσης εξόδου.

Οι τάσεις στις τρεις φάσεις του φορτίου διατηρούν τη διαφορά φάσης των 120° των τάσεων του δικτύου. Λόγω της συμμετρίας αυτής ο ρυθμιστής χαρακτηρίζεται *συμμετρικός*.

10. Διακοπτικός μετατροπέας συνεχούς ρεύματος υποβιβασμού τάσης



Εικ. 10.1

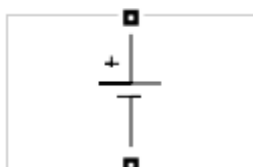
Ο μετατροπέας υποβιβασμού τάσης αποτελείται από πηγή τροφοδοσίας DC, διακόπτη, βαθυπερατό φίλτρο LC, δίοδο ελεύθερης ροής και φορτίο (Εικ. 10.1).

Όσο ο διακόπτης είναι κλειστός τροφοδοτεί το πηνίο και το φορτίο, ενώ η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη. Όταν ο διακόπτης σταματάει να άγει τότε το κύκλωμα τροφοδοτείται από το ρεύμα του πηνίου που ρέει μέσω της δίοδου ελεύθερης ροής (συνεχής αγωγή ρεύματος) και μειώνεται γραμμικά.

Η τάση εξόδου u_o σε σχέση με την τάση εισόδου V_{dc} είναι $u_o = D * V_{dc}$. D (Duty Cycle, κύκλος εργασίας) είναι το ποσοστό της περιόδου T που άγει ο διακόπτης και ισούται με $D = t_{ON} / (t_{ON} + t_{OFF})$, όπου t_{ON} ο χρόνος που διαρκούν οι παλμοί (άγει ο διακόπτης) και t_{OFF} ο χρόνος που δεν υπάρχει παλμός (ο διακόπτης είναι OFF). Ισχύει $T = t_{ON} + t_{OFF}$ και $u_o = V_{dc} * t_{ON} / (t_{ON} + t_{OFF})$.

Από την παραπάνω σχέση είναι προφανές ότι η τάση εξόδου είναι πάντα μικρότερη της τάσης εισόδου και έχει μορφή παλμών.

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα

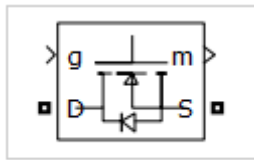


DC Voltage Source

Εικ. 10.2

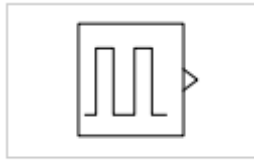
- Συνεχής πηγή τάσης

[SimPowerSystems > Electrical Sources > DC Voltage Source]



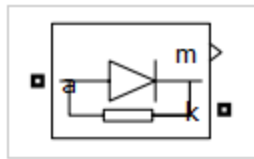
Mosfet

- Τρανζίστορ *MOSFET*
[*SimPowerSystems* > *Power Electronics* > *Mosfet*]



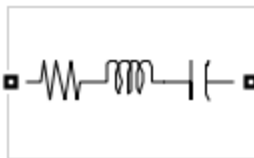
Pulse Generator

- Γεννήτρια παλμών για σκανδαλισμό του *MOSFET*
[*Simulink* > *Sources* > *Pulse Generator*]



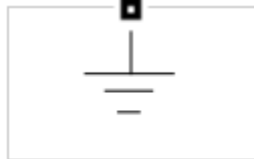
Diode

- Δίοδος
[*SimPowerSystems* > *Power Electronics* > *Diode*]



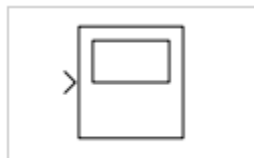
Series RLC Branch

- Ωμική αντίσταση, πυκνωτής και πηνίο
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Series RLC Branch*]



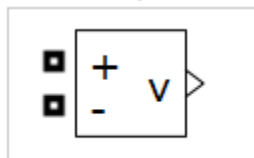
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Ground*]



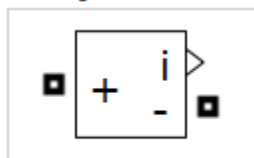
Scope

- Παλμογράφος
[*Simulink* > *Sinks* > *Scope*]



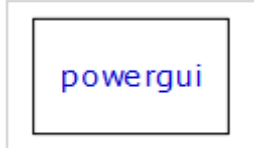
Voltage Measurement

- Blocks για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems* > *Measurements* > *Voltage Measurement*]
και ρεύματος



Current Measurement

- [*SimPowerSystems* > *Measurements* > *Current Measurement*]

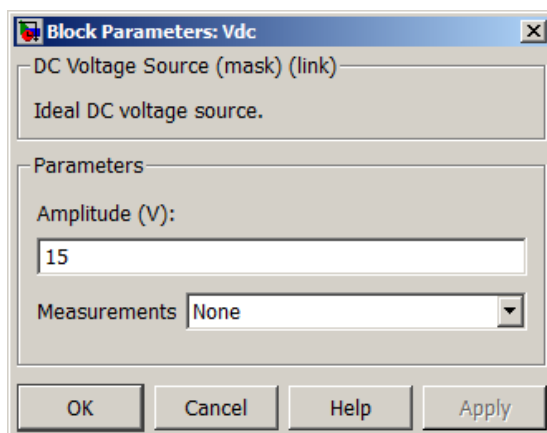


powergui
Eικ. 10.3

- Το block *powergui* για την προσομοίωση
[*SimPowerSystems* > *powergui*]

Διαδικασία σχεδίασης

DC Voltage Source: Η V_{dc} θα χρησιμοποιηθεί ως τροφοδοσία του κυκλώματος. Με δεξί κλικ επιλέγουμε *Mask parameters...* και στο πεδίο *Amplitude (V)* εισάγουμε **15** (Εικ. 10.4).



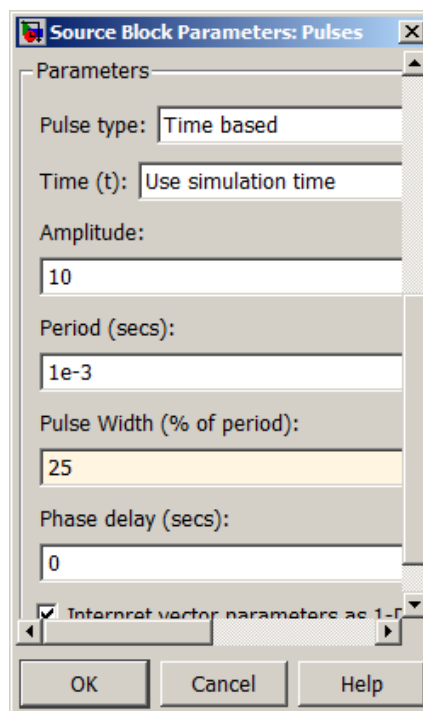
Εικ. 10.4

Ως διακόπτης συνήθως χρησιμοποιείται Mosfet (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, τρανζίστορ μεταλλικών οξειδίων ημιαγωγών με επίδραση πεδίου). Τα *Mosfet* ως μονοπολικά στοιχεία έχουν τους μικρότερους χρόνους μετάβασης από όλους τους ημιαγωγούς διακόπτες ισχύος. Το block του *Mosfet* οπτικά μοιάζει με ένα *Thyristor*. Διαθέτει τρεις ακίδες,



εκροή (*drain*, ακίδα *D*) που συνδέεται στο θετικό άκρο της V_{dc} , πηγή (*source*, *S*) από όπου εξέρχεται το ρεύμα i_{dc} που τροφοδοτεί το κύκλωμα και πύλη (*gate*, *g*) όπου εφαρμόζονται οι παλμοί. Την ακίδα *m* μπορούμε να την αποκρύψουμε όπως στις διόδους.

Pulse Generator: Η γεννήτρια πρέπει να τροφοδοτήσει με παλμούς υψηλής συχνότητας την πύλη του *Mosfet*. Με διπλό κλικ ανοίγει το παράθυρο διαλόγου των παραμέτρων της (Εικ. 10.5).



Εικ. 10.5

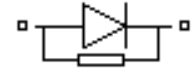
Ως πλάτος θέτουμε έστω *Amplitude*: **10**.

Στο πεδίο *Period (secs)* εισάγουμε μια χαμηλή περίοδο (για υψηλή συχνότητα), έστω **1e-3** (δηλαδή 0.001 seconds ή 1000Hz).

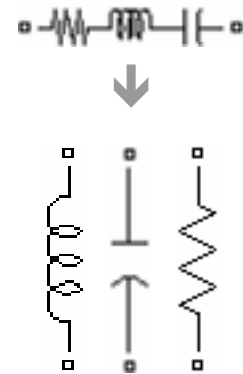
Στο πεδίο *Pulse Width (% of period)* (εύρος παλμού) εισάγουμε πόσο τοις εκατό σε σχέση με την περίοδο διαρκεί ο παλμός. Είναι με άλλα λόγια ο κύκλος εργασίας *Duty Cycle*. Εισάγοντας **25** σημαίνει ότι για περίοδο $T = 100$ seconds ο χρόνος t_{ON} που το *Mosfet* είναι ON είναι 25 (και ο t_{OFF} 75).

Η τάση εξόδου του μετατροπέα είναι ανάλογη με τον χρόνο t_{ON} που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η τιμή σε αυτό το πεδίο *Pulse Width (% of period)* τόσο αυξάνεται και η τάση εξόδου.

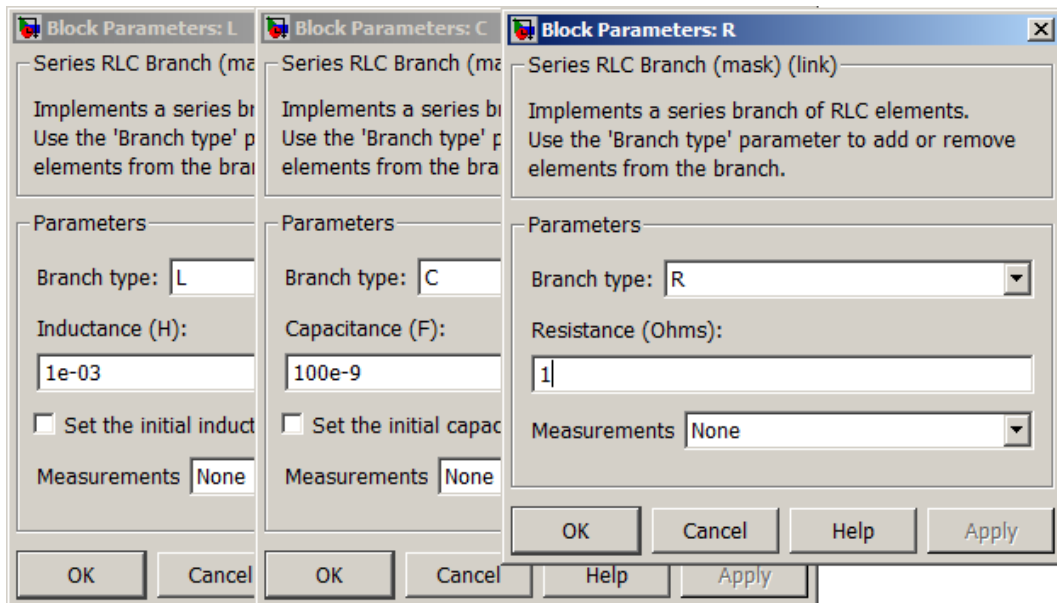
Diode: Η δίοδος ελεύθερης ροής D θα συνδεθεί με την άνοδό της στην γείωση και η κάθοδός της με την πηγή (S) του *Mosfet* ώστε να είναι πολωμένη ανάστροφα όταν το *Mosfet* είναι ON.



Series RLC Branch: Το κύκλωμα απαιτεί την παρουσία πηνίου L , πυκνωτή C και ωμικής αντίστασης R . Οπότε εισάγεται αυτό το block τρεις φορές και κάθε φορά επιλέγουμε από τις παραμέτρους *Branch type: L* για το πηνίο, *Branch type: C* για τον πυκνωτή και *Branch type: R* για την αντίσταση.

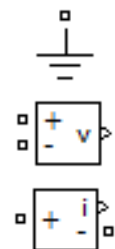


Οπότε στα αντίστοιχα blocks ορίζουμε κατάλληλες τιμές στα πεδία *Inductance (H)*: **1e-3** ($L = 1\text{mH}$), *Capacitance (F)*: **100e-9** ($C = 100\text{pF}$), *Resistance (Ohms)*: **1** (Εικ. 10.6).



Εικ. 10.6

Κατόπιν συνδέονται τα blocks σύμφωνα με το διάγραμμα για να σχηματιστεί το κύκλωμα. Τοποθετούνται σημεία γείωσης (Ground) όπου απαιτούνται. Τα σημεία που θα γίνουν οι μετρήσεις οδηγούνται στον παλμογράφο μέσω των blocks Voltage Measurement και Current Measurement.

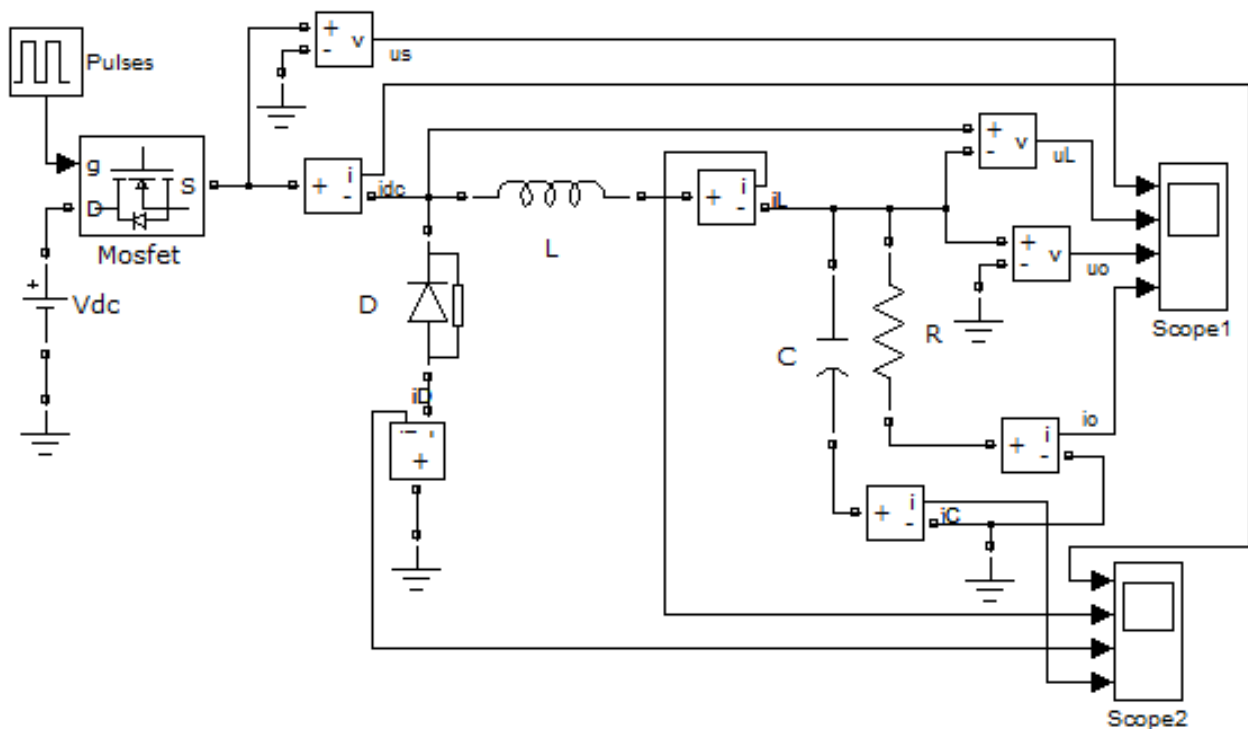


Scope: Στον παλμογράφο θα απεικονιστούν η τάση και το ρεύμα εισό-

δου από την πηγή του *Mosfet* (u_s, i_{dc}), η τάση και το ρεύμα εξόδου στο φορτίο R (u_o, i_o), τα ρεύματα διαρρέουν την δίοδο ελεύθερης ροής (i_D), το πηνίου (i_L) και τον πυκνωτή (i_C). Αν κριθεί απαραίτητο για λόγους ευκρίνειας χρησιμοποιούνται πάνω από ένας παλμογράφοι. Με διπλό κλικ $> Parameters$ στο block του παλμογράφου ορίζουμε τον αριθμό αξόνων.

Με διπλό κλικ στις γραμμές σύνδεσης στις εισόδους του παλμογράφου ονομάζουμε τα σήματα. Τα ονόματα θα εμφανιστούν στον παλμογράφο κατά την προσομοίωση.

Το κύκλωμα ολοκληρώθηκε και θα πρέπει να είναι όμοιο με αυτό της Εικόνας 10.7.



Εικ. 10.7

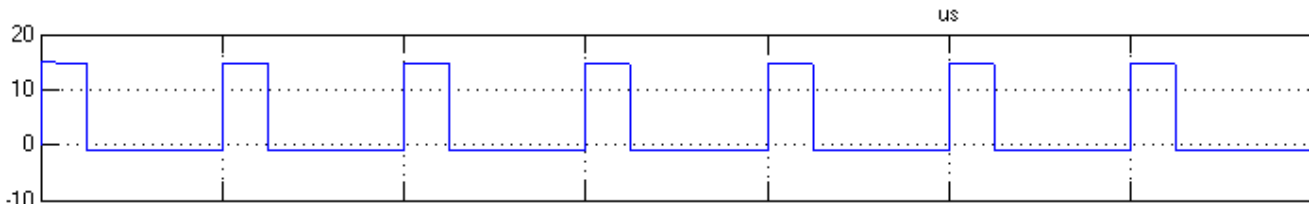
Προσομοίωση

Πριν την τέλεση της προσομοίωσης εισάγουμε το block *powergui*, όπως και στα άλλα κυκλώματα. Επίσης, από το μενού *Simulation > Configuration Parameters...* εισάγουμε τον χρόνο διάρκειας της προσομοίωσης (*Stop time: 0.01*, χαμηλή τιμή αφού δουλεύουμε με υψηλές συχνότητες) και επιλέγουμε ως αλγόριθμο επίλυσης *Solver: ode23tb (stiff/TR-BDF2)*.

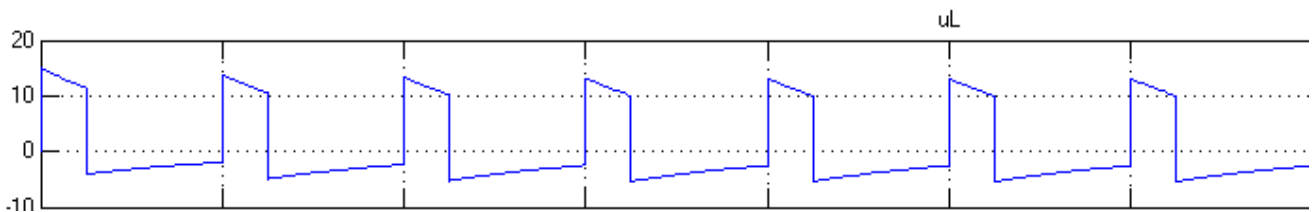
Θα πραγματοποιηθούν τρεις προσομοιώσεις όπου θα αλλάζουμε το *Duty Cycle* (από το πεδίο *Pulse Width (% of period)* της παλμογεννήτριας).

Πρώτη προσομοίωση:

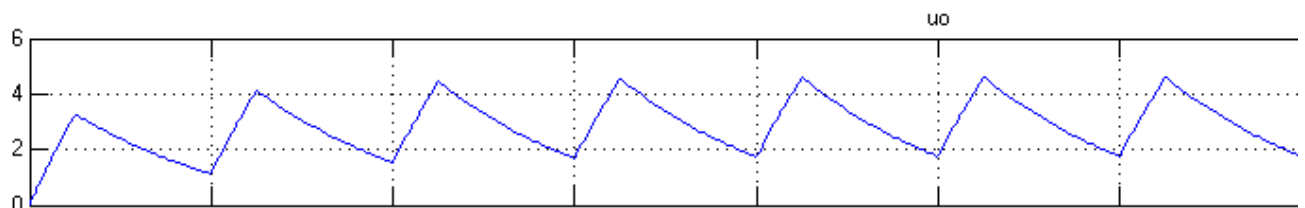
Για *Duty Cycle* 25%.



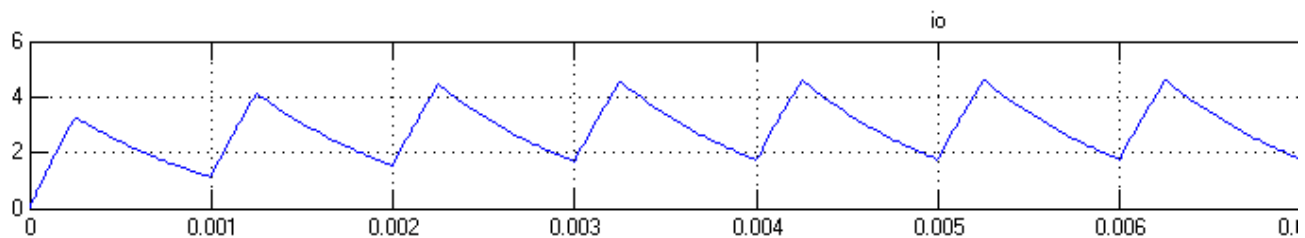
Εικ. 10.8: u_g . Η τάση μεταξύ πηγής (S) του *Mosfet* και γείωσης. Έχει παλμική μορφή με πλάτος όσο η πηγή V_{dc} και τον κύκλο εργασίας των παλμών στην πύλη του (g).



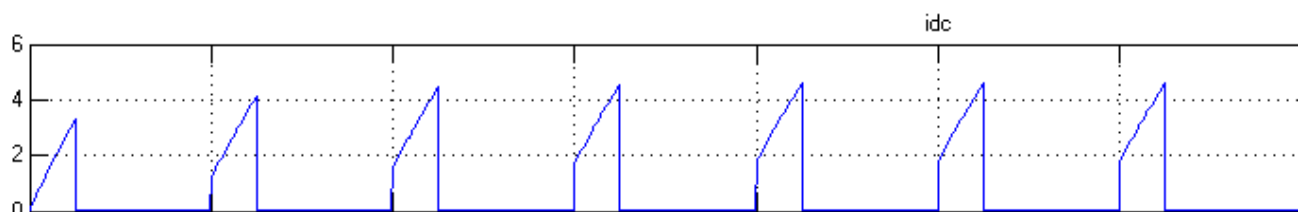
Εικ. 10.9: u_L . Η τάση στα άκρα του πηνίου L .



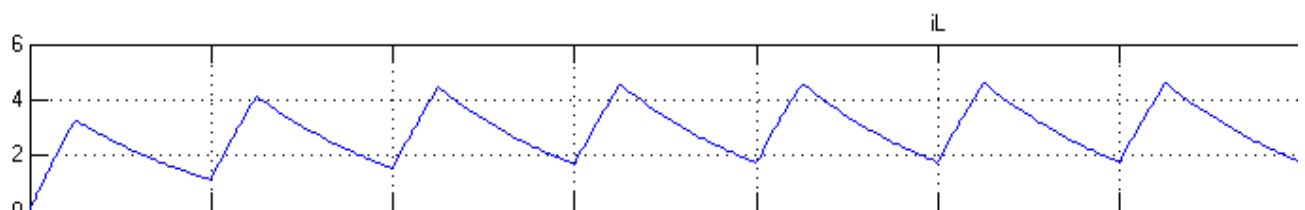
Εικ. 10.10: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου R .



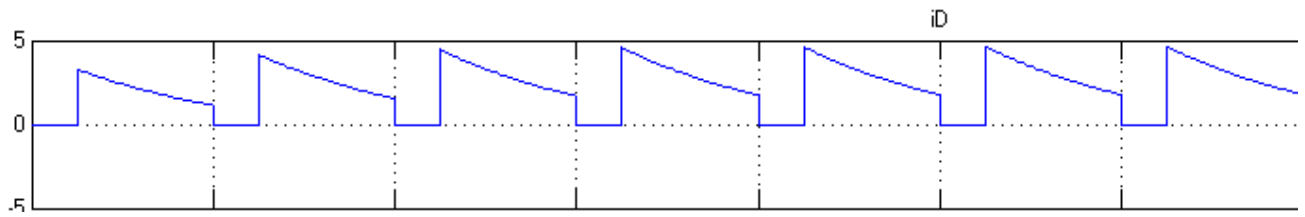
Εικ. 10.11: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει την R .



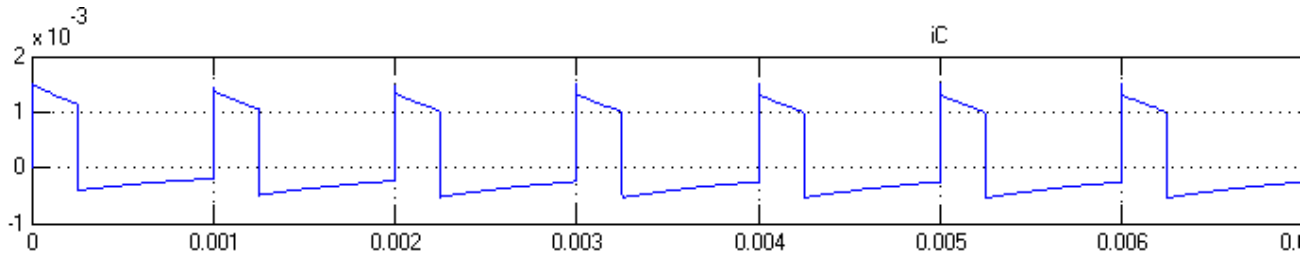
Εικ. 10.12: i_{dc} . Το ρεύμα από την έξοδο της πηγής του *Mosfet*.



Εικ. 10.13: i_L . Το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο L .



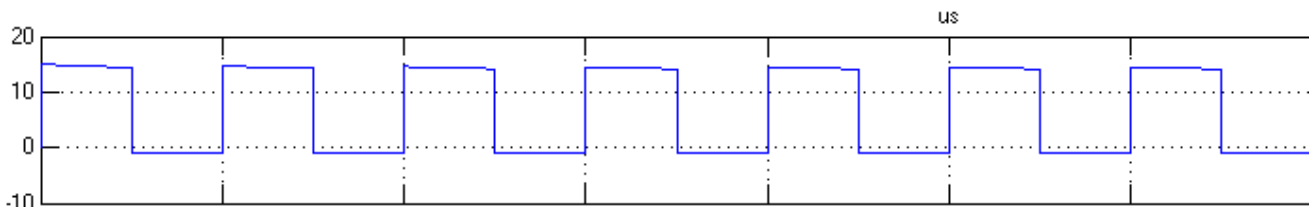
Εικ. 10.14: i_D . Το ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο D .



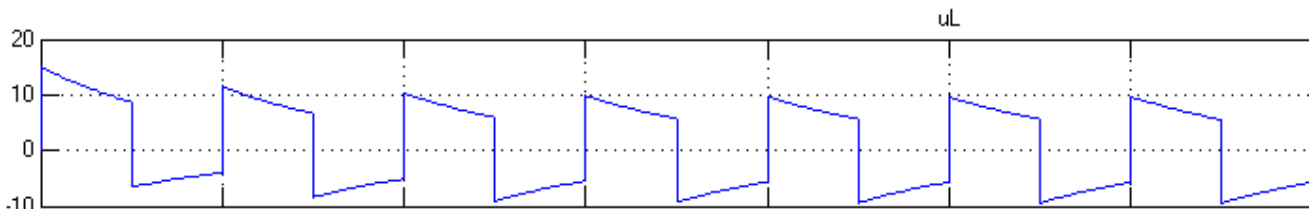
Εικ. 10.15: i_C : Το ρεύμα που διαρρέει τον πυκνωτή C (πολύ μικρό).

Δεύτερη προσομοίωση:

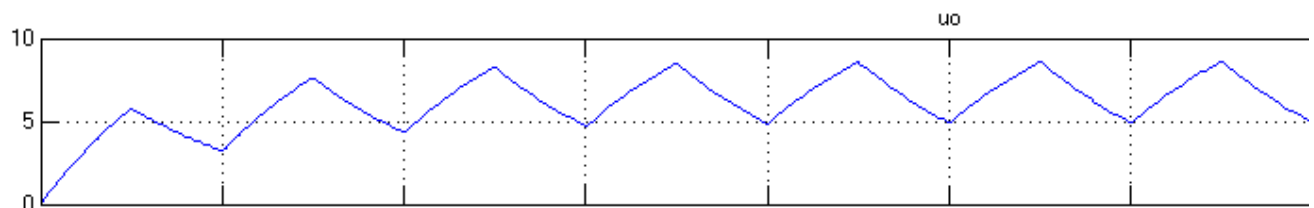
Για *Duty Cycle* 50%. *Pulse Width (% of period)*: **50**.



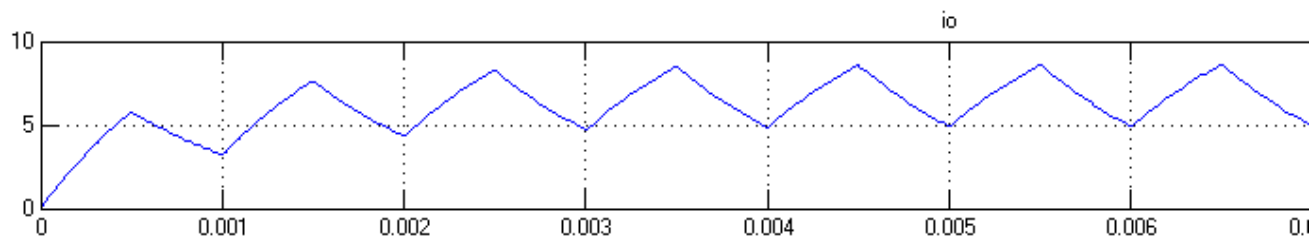
Εικ. 10.16: u_S . Η τάση μεταξύ πηγής (S) του *Mosfet* και γείωσης.



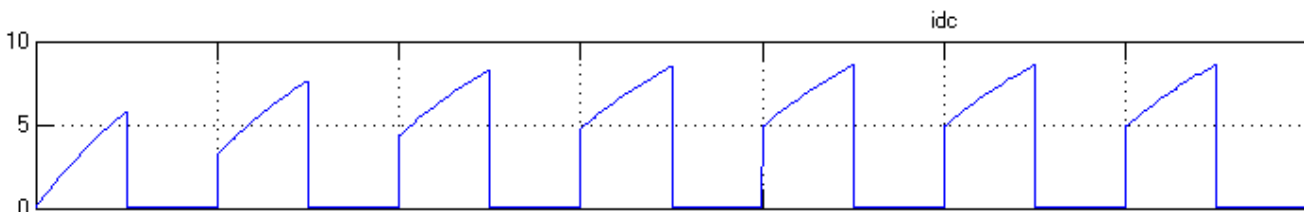
Εικ. 10.17: u_L . Η τάση στα άκρα του πηνίου L .



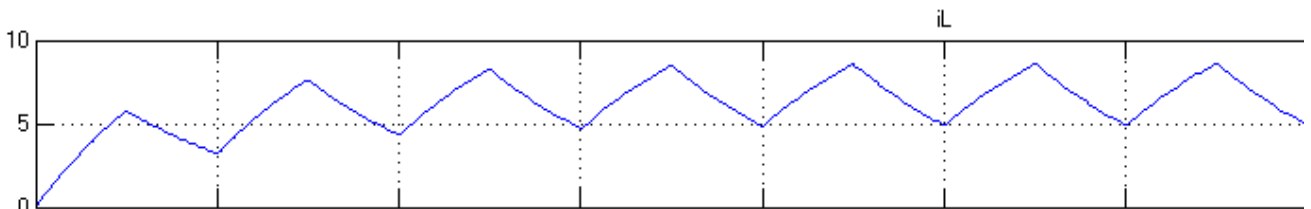
Εικ. 10.18: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου R .



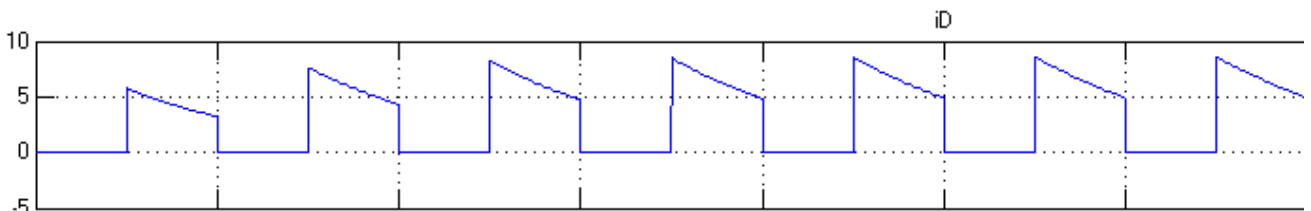
Εικ. 10.19: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει την R .



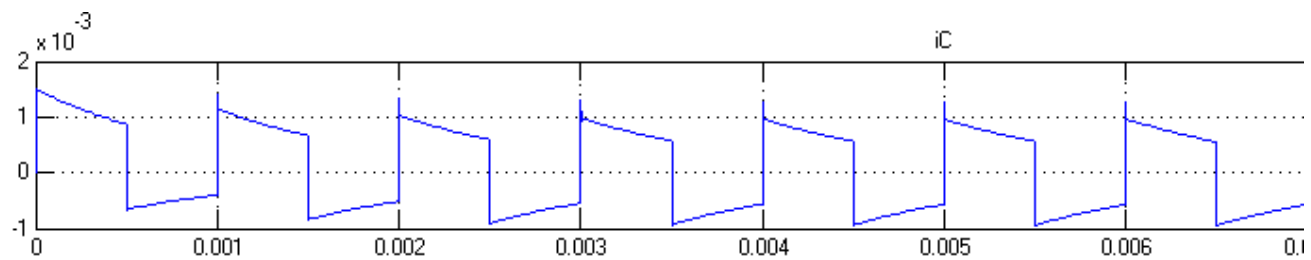
Εικ. 10.20: i_{dc} . Το ρεύμα από την έξοδο της πηγής του Mosfet.



Εικ. 10.21: i_L . Το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο L .



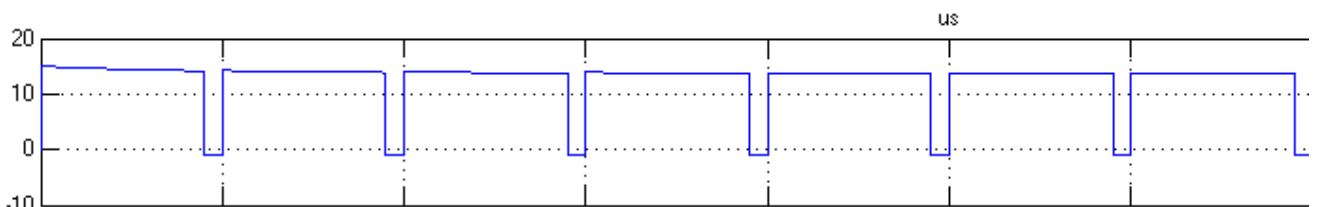
Εικ. 10.22: i_D . Το ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο D .



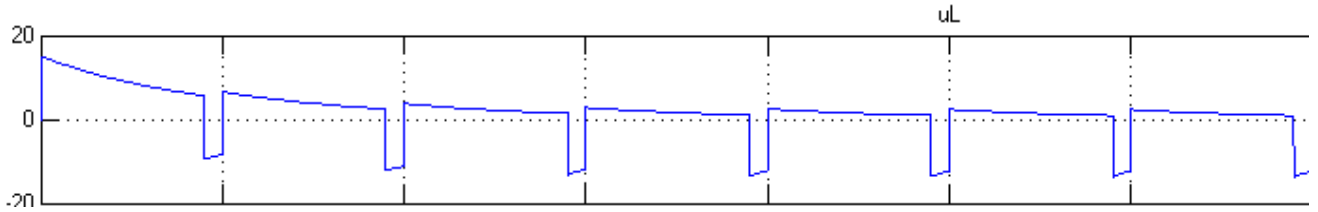
Εικ. 10.23: i_C . Το ρεύμα που διαρρέει τον πυκνωτή C (πολύ μικρό).

Τρίτη προσομοίωση:

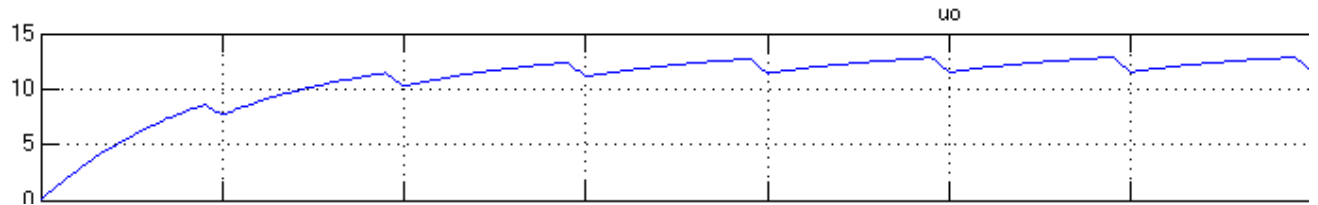
Για *Duty Cycle* 90%. *Pulse Width* (% of period): **90**.



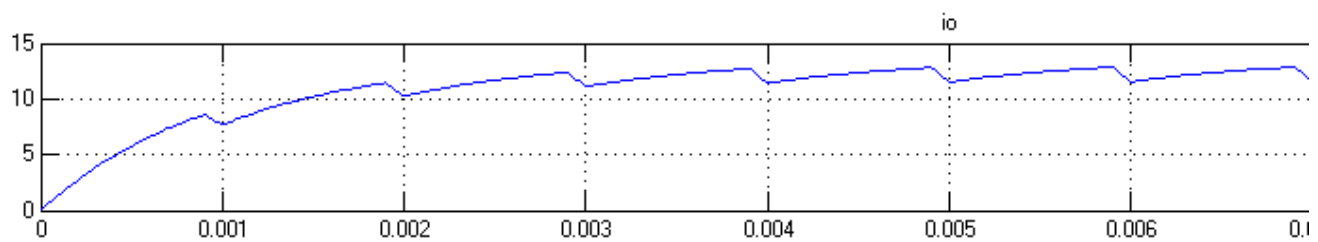
Εικ. 10.24: u_s . Η τάση μεταξύ πηγής (S) του Mosfet και γείωσης.



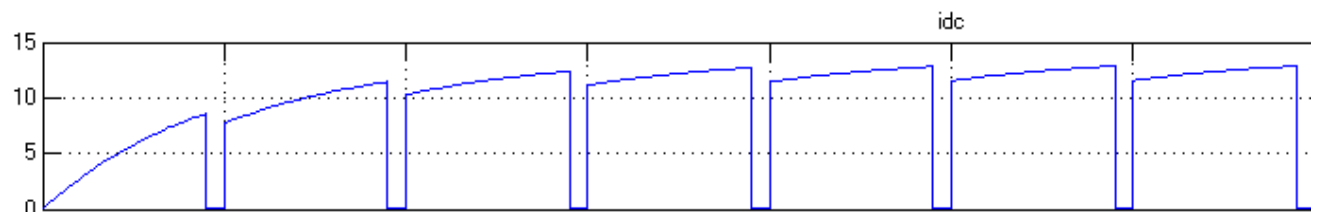
Εικ. 10.25: u_L . Η τάση στα άκρα του πηνίου L .



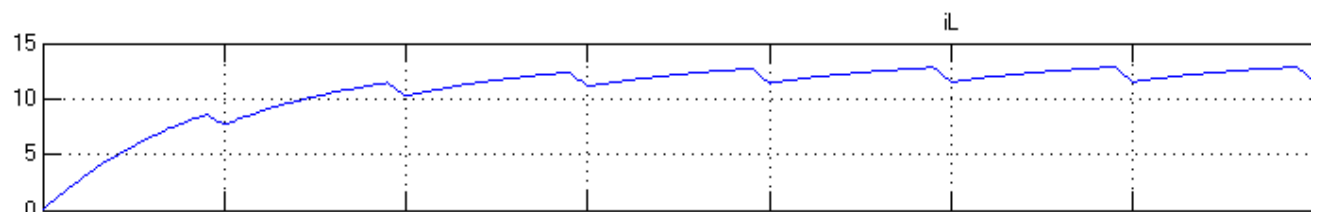
Εικ. 10.26: u_o . Η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου R .



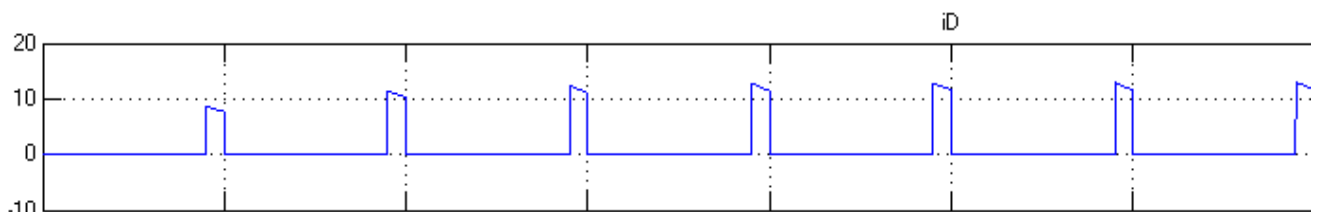
Εικ. 10.27: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει την R .



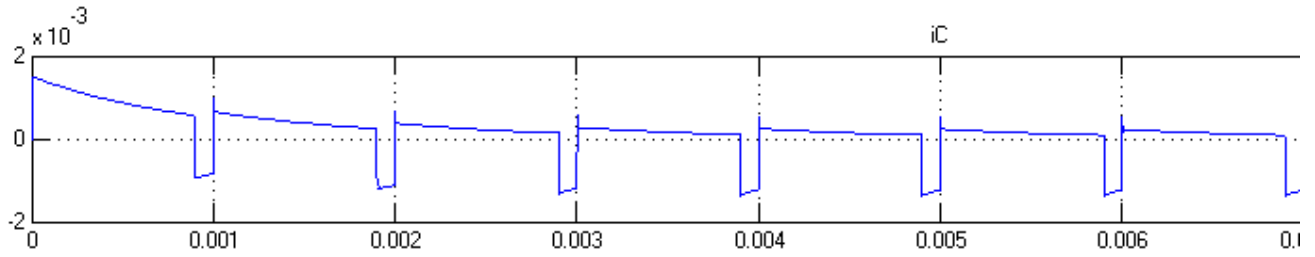
Εικ. 10.28: i_{dc} . Το ρεύμα από την έξοδο της πηγής του *Mosfet*.



Εικ. 10.29: i_L . Το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο L .



Εικ. 10.30: i_D . Το ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο D .



Εικ. 10.31: i_C . Το ρεύμα που διαρρέει τον πυκνωτή C (πολύ μικρό).

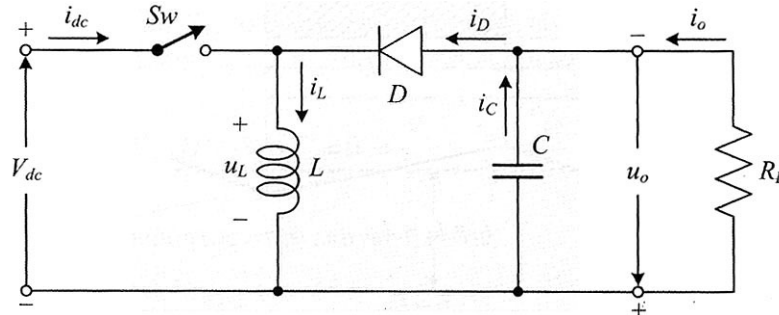
Παρατηρήσεις

Όσο αυξάνεται ο κύκλος εργασίας D τόσο αυξάνεται και η u_o κατά μέση τιμή, αφού συνδέονται με την σχέση $u_o = V_{dc} * D$. Η τάση εξόδου μεταβάλλεται ανάλογα με το Duty Cycle, ενώ η πηγή V_{dc} και η συχνότητα των παλμών (και της u_o) είναι σταθερές.

Στο διάστημα αγωγιμότητας του *Mosfet* (t_{ON}) το ρεύμα του πηνίου i_L αυξάνεται, ενώ στο διάστημα αποκοπής μειώνεται γραμμικά.

Ο πυκνωτής διαρρέεται από πολύ μικρό ρεύμα και πρακτικά ισχύει $i_{dc} = i_L - i_D$ και $i_L = i_o$.

11. Μετατροπέας υποβιβασμού-ανύψωσης τάσης



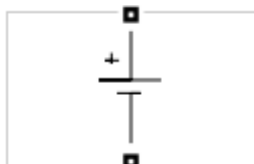
Εικ. 11.1

Το κύκλωμα του DC-DC μετατροπέα της Εικόνας 11.1 μπορεί να λειτουργήσει σαν υποβιβασμού ή ανύψωσης τάσης ανάλογα με την διάρκεια αγωγής του διακόπτη (*Duty Cycle*).

Όταν ο διακόπτης Sw είναι κλειστός (ON) μεταφέρεται ενέργεια στο πηνίο L μέσω της πηγής V_{dc} . Η διόδος D είναι πολωμένη ανάστροφα, οπότε δεν άγει. Το φορτίο R_L τροφοδοτείται από τον πυκνωτή C . Όταν ο Sw είναι ανοικτός (OFF) απομονώνεται η V_{dc} . Η D πολώνεται ορθά και άγει. Το πηνίο L τροφοδοτεί το φορτίο R_L και τον C πυκνωτή.

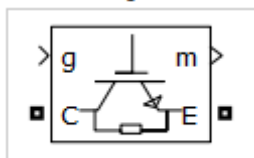
Το ρεύμα εξόδου i_o είναι αντίθετης φοράς από το ρεύμα i_{dc} της V_{dc} , που σημαίνει ότι και η τάση εξόδου u_o θα έχει αντίθετη πολικότητα από την V_{dc} .

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα



DC Voltage Source

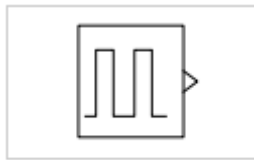
- Συνεχής πηγή τάσης
[*SimPowerSystems* > *Electrical Sources* > *DC Voltage Source*]



IGBT

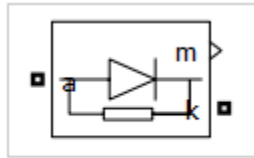
Εικ. 11.2

- Τρανζίστορ IGBT
[*SimPowerSystems* > *Power Electronics* > *IGBT*]



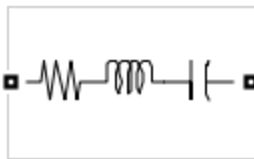
Pulse Generator

- Γεννήτρια παλμών για σκανδαλισμό του IGBT
[*Simulink > Sources > Pulse Generator*]



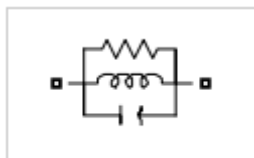
Diode

- Δίοδος
[*SimPowerSystems > Power Electronics > Diode*]



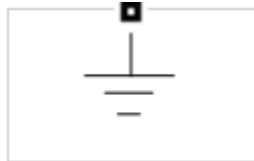
Series RLC Branch

- Πηνίο
[*SimPowerSystems > Elements > Series RLC Branch*]



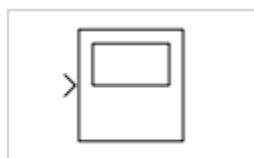
Parallel RLC Branch

- Παράλληλος συνδυασμός ωμικής αντίστασης και πυκνωτή
[*SimPowerSystems > Elements > Parallel RLC Branch*]



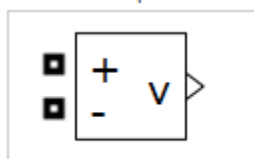
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems > Elements > Ground*]



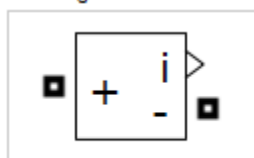
Scope

- Παλμογράφος
[*Simulink > Sinks > Scope*]



Voltage Measurement

- Blocks για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems > Measurements > Voltage Measurement*]
και ρεύματος



Current Measurement

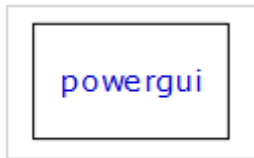
- [*SimPowerSystems > Measurements > Current Measurement*]



Mux

- Πολυπλέκτης για συνδυασμό σημάτων στον παλμογράφο
[*Simulink > Signal Routing > Mux*]

Εικ. 11.3



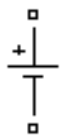
powergui
Εικ. 11.4

- Το block *powergui* για την προσομοίωση
[*SimPowerSystems > powergui*]

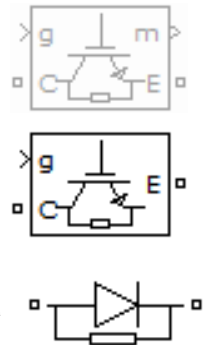
Διαδικασία σχεδίασης

Εισάγουμε τα παραπάνω blocks (Εικ. 11.2, 11.3, 11.4) ένα-ένα, ρυθμίζουμε τις παραμέτρους τους και δημιουργούμε το κύκλωμα.

DC Voltage Source: Η V_{dc} θα χρησιμοποιηθεί ως τροφοδοσία του κυκλώματος. Με δεξί κλικ επιλέγουμε *Mask parameters...* και στο πεδίο *Amplitude (V)* εισάγουμε **20**.



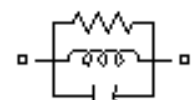
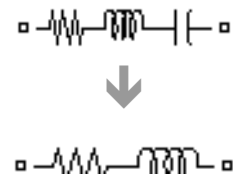
Ως διακόπτης θα χρησιμοποιηθεί ένα IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*, διπολοεπαφικό τρανζίστορ μονωμένης πύλης). Το IGBT ανήκει στην ίδια κατηγορία με το MOSFET του προηγούμενου κυκλώματος. Ο ακροδέκτης του συλλέκτη (ακίδα C) θα συνδεθεί στο θετικό άκρο της V_{dc} , ο εκπομπός (E) θα στέλνει το ρεύμα από την V_{dc} στο υπόλοιπο κύκλωμα. Ανάλογα με τους παλμούς που δέχεται στην πύλη του (g), το IGBT είναι σε κατάσταση αγωγής (για όλη τη διάρκεια του παλμού) ή αποκοπής (όταν δεν υπάρχει παλμός). Η ακίδα m, όπως και της διόδου (Diode) μπορεί να παραληφθεί.



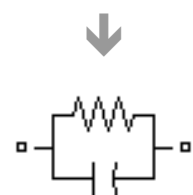
Pulse Generator: Η παλμογεννήτρια στέλνει παλμούς στην πύλη του IGBT. Με διπλό κλικ εισάγουμε τις παραμέτρους *Amplitude*: **10** (πλάτος), *Period (secs)*: **0.001** (περίοδος), *Pulse Width (% of period)*: **30** (κύκλος εργασίας, τον οποίο θα μεταβάλλουμε μετά την πρώτη προσομοίωση).



Series RLC Branch: Αυτό το block θα χρησιμοποιηθεί ως πηνίο L. Με διπλό κλικ ορίζουμε τις παραμέτρους. *Branch type*: L και *Inductance L (H)*: έστω **5e-3**, δηλαδή 5mH.



Parallel RLC Branch: Αυτό το block αποτελεί τον παράλληλο συνδυασμό ωμικής αντίστασης και πυκνωτή RC. Με διπλό κλικ ορίζουμε τις παραμέτρους. *Branch type*: RC, *Resistance R (Ohms)*: **100** και *Capacitance C (F)*: **10e-6**, που αντιστοιχεί σε 10μF ή

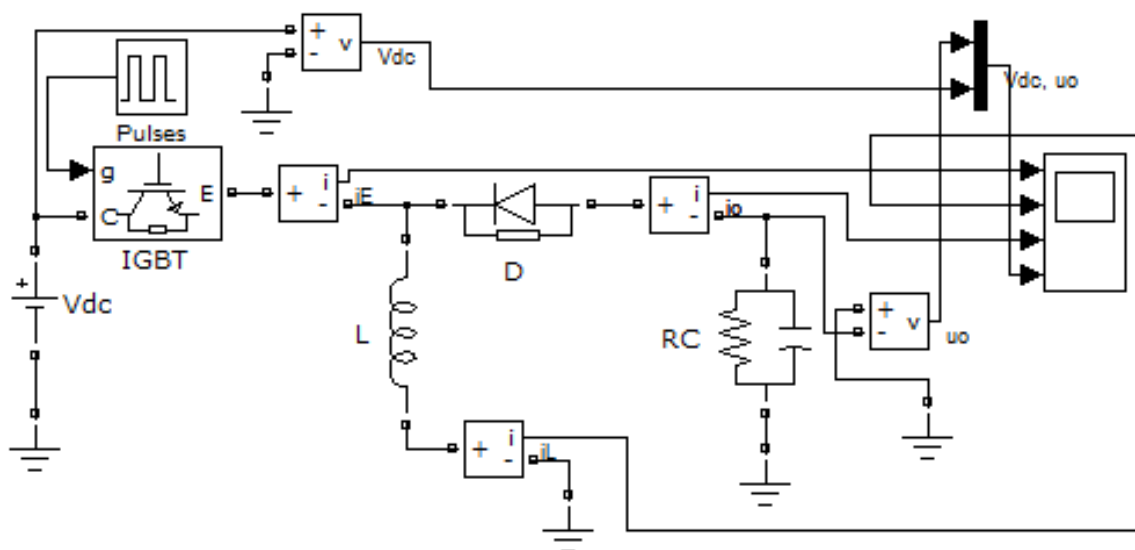


0.00001F.

Στον παλμογράφο (*Scope*) θα παρασταθούν το ρεύμα από την έξοδο του *Mosfet* (i_E), το ρεύμα του πηνίου (i_L), το ρεύμα εξόδου (i_o) και η τάση εξόδου (i_o). Οπότε με διπλό κλικ > *Parameters* δηλώνουμε *Number of axes: 4*. Με την χρήση ενός πολυπλέκτη *Mux* μπορούμε να έχουμε σε ένα κανάλι την τάση εξόδου και την τάση τροφοδοσίας V_{dc} .

Τα σημεία μέτρησης οδηγούνται στα κανάλια του παλμογράφου μέσω των blocks *Voltage Measurement* και *Current Measurement* (η τάση και τα ρεύματα αντίστοιχα. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη σωστή πολικότητα του ρεύματος και της τάσης εξόδου.

Τέλος μπαίνουν σημεία γείωσης (*Ground*) και συνδέονται τα blocks μεταξύ τους.



Εικ. 11.5

Προσομοίωση

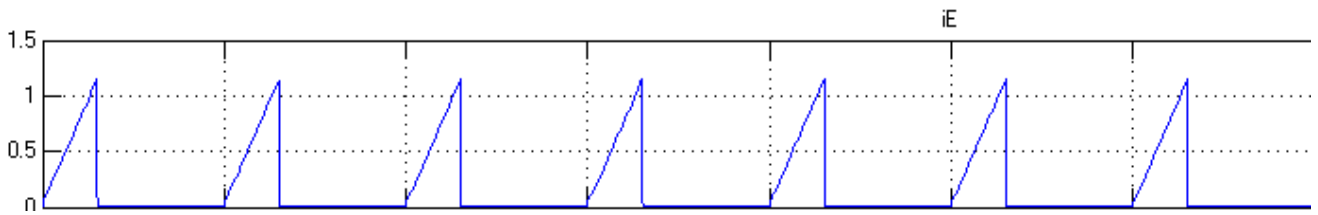
Εισάγουμε όπως πάντα το block *powergui*. Από το μενού *Simulation* > *Configuration Parameters...* εισάγουμε *Stop time: 0.01* και επιλέγουμε ως αλγόριθμο επίλυσης *Solver: ode23tb (stiff/TR-BDF2)*.



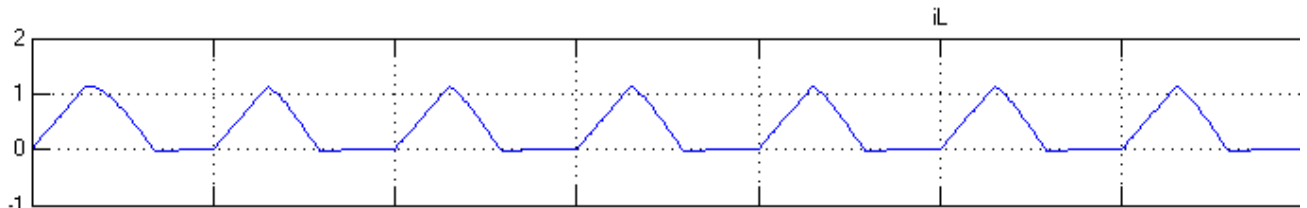
Θα πραγματοποιηθούν τρεις προσομοιώσεις όπου θα αλλάζουμε τον κύκλο εργασίας *Duty Cycle* (το πεδίο *Pulse Width (% of period)* της παλμογεννήτριας).

Πρώτη προσομοίωση:

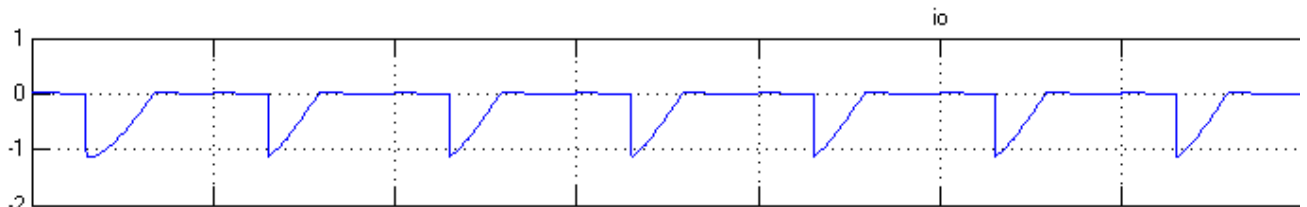
Για *Duty Cycle* 30%.



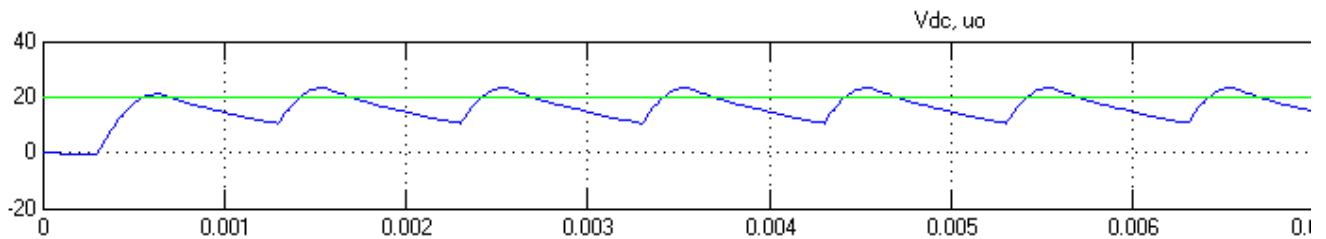
Εικ. 11.6: i_E . Το ρεύμα από την έξοδο του εκπομπού του IGBT.



Εικ. 11.7: i_L . Το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο L .



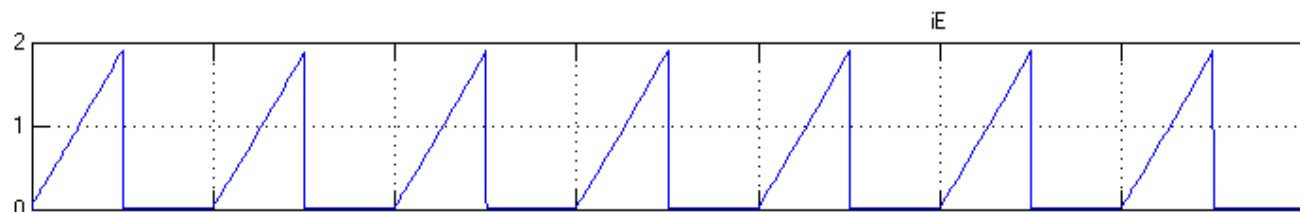
Εικ. 11.8: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RC .



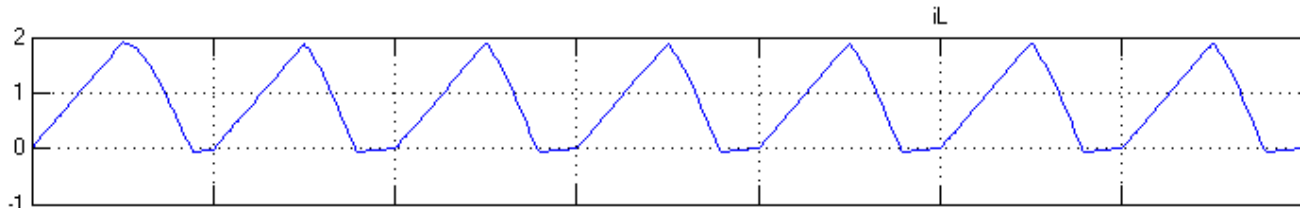
Εικ. 11.9: u_o , V_{dc} . Η πηγή τροφοδοσίας και η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RC (με σκούρο χρώμα).

Δεύτερη προσομοίωση:

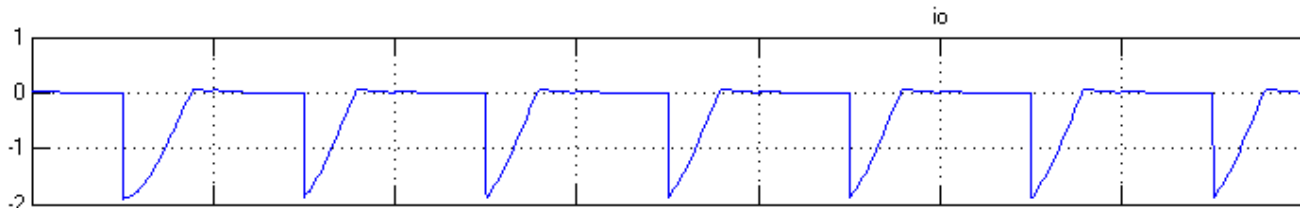
Για *Duty Cycle* 50%. *Pulse Width (% of period)*: 50.



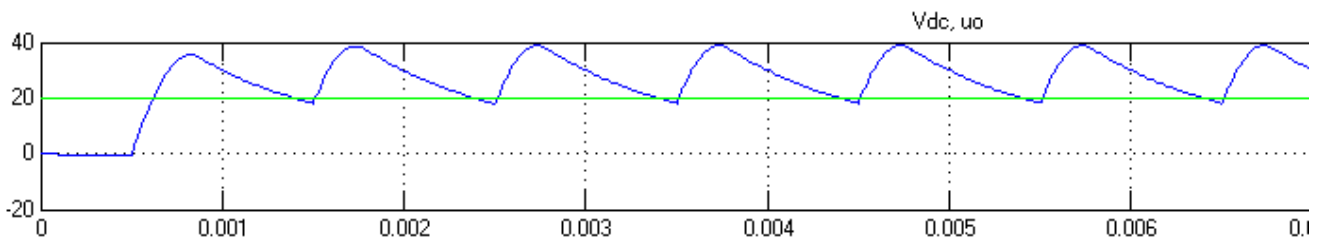
Εικ. 11.10: i_E . Το ρεύμα από την έξοδο του εκπομπού του IGBT.



Εικ. 11.11: i_L . Το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο L .



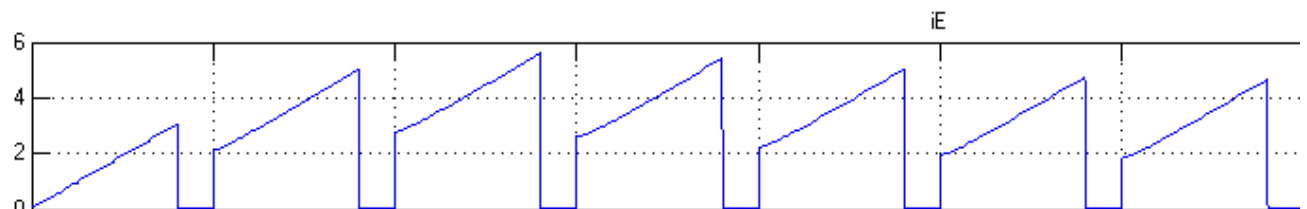
Εικ. 11.12: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RC .



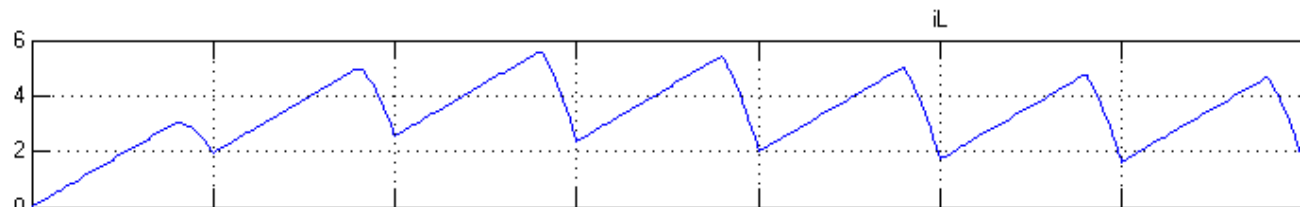
Εικ. 11.13: u_o , V_{dc} . Η πηγή τροφοδοσίας και η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RC (με σκούρο χρώμα).

Τρίτη προσομοίωση:

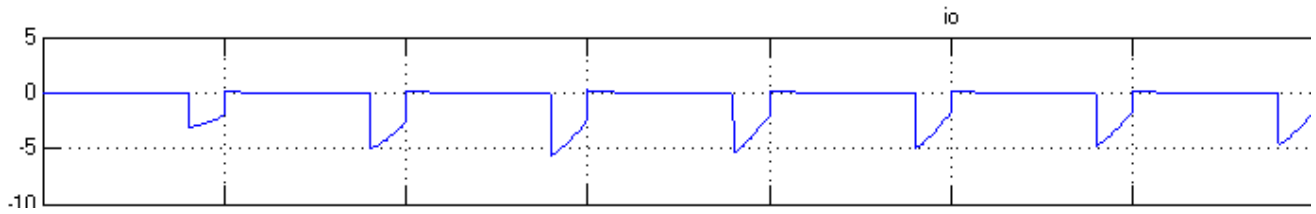
Για *Duty Cycle* 80%. *Pulse Width (% of period)*: **80**.



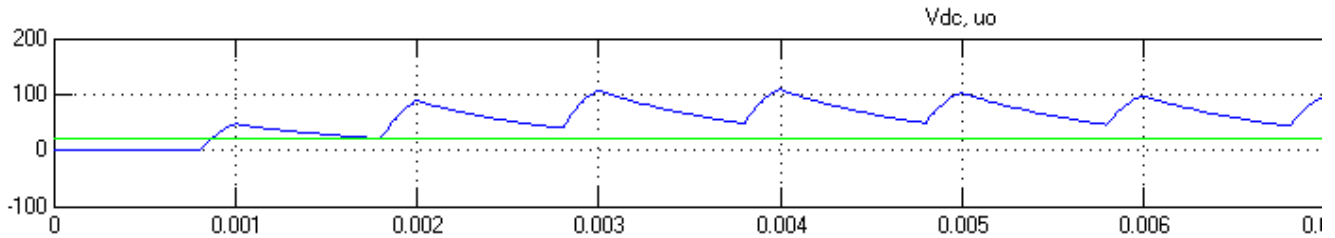
Εικ. 11.14: i_E . το ρεύμα από την έξοδο του εκπομπού του $IGBT$.



Εικ. 11.15: i_L . Το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο L .



Εικ. 11.16: i_o . Το ρεύμα εξόδου που διαρρέει το φορτίο RC .



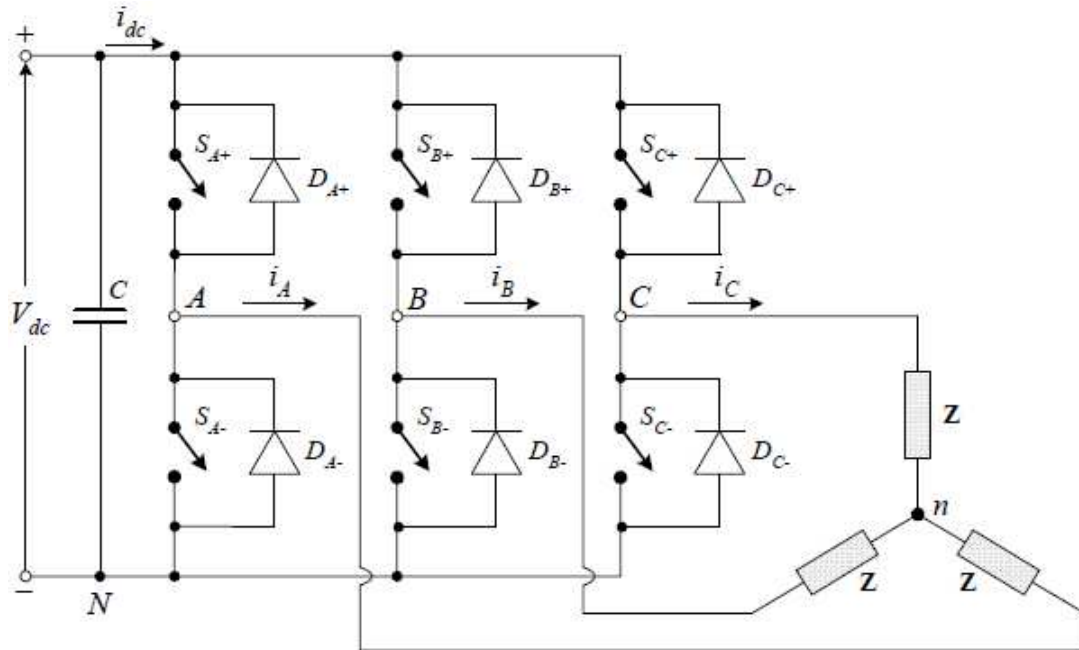
Εικ. 11.17: u_o , V_{dc} . Η πηγή τροφοδοσίας και η τάση εξόδου στα άκρα του φορτίου RC (με σκούρο χρώμα).

Παρατηρήσεις

Ο μετατροπέας αυτός μπορεί να λειτουργήσει σαν ανύψωσης ή σαν υποβιβασμού τάσης ανάλογα με τον κύκλο εργασίας. Για χαμηλές τιμές κάνει υποβιβασμό τάσης και για υψηλές τιμές ανύψωση.

Παρατηρούμε επίσης ότι η u_o έχει αντίστροφη πολικότητα σε σχέση με την V_{dc} .

12. Τριφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης



Εικ. 12.1

Ο αντιστροφέας γενικά μετατρέπει την συνεχή τάση της πηγής σε εναλλασσόμενη. Η ρύθμιση του πλάτους των τάσεων εξόδου μπορεί να επιτευχθεί είτε με κατάλληλο έλεγχο των διακοπών του αντιστροφέα, ή με έλεγχο της συνεχούς τάσης εισόδου V_{dc} .

Σε αυτό το κύκλωμα θα χρησιμοποιηθεί η τεχνική διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM – Pulse Width Modulation) που σημαίνει ότι η ρύθμιση της τάσης εξόδου γίνεται εντός του αντιστροφέα και η V_{dc} μένει σταθερή.

Απαραίτητα όργανα, συσκευές και εξαρτήματα

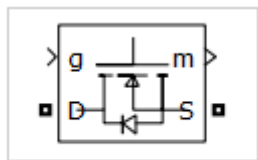


DC Voltage Source

Εικ. 12.2

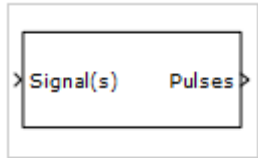
- Συνεχής πηγή τάσης

[SimPowerSystems > Electrical Sources > DC Voltage Source]



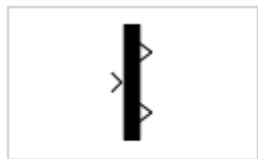
Mosfet

- Έξι τρανζίστορ *MOSFET*
[*SimPowerSystems* > *Power Electronics* > *Mosfet*]



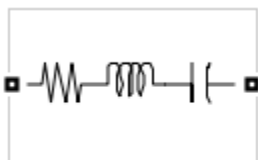
PWM Generator

- Γεννήτρια παλμών PWM για τα έξι *Mosfet*
[*SimPowerSystems* > *Extra Library* > *Control Blocks* > *PWM Generator*]



Demux

- Αποπολυπλέκτες για μοίρασμα των παλμών στα *Mosfet* και για μέτρηση ρεύματος και τάσης στα *Mosfet*
[*Simulink* > *Signal Routing* > *Demux*]



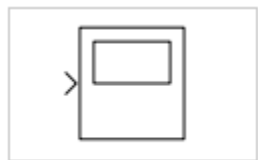
Series RLC Branch

- Τρεις αντιστάσεις
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Series RLC Branch*]



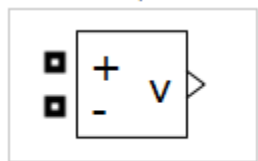
Ground

- Σημεία γείωσης
[*SimPowerSystems* > *Elements* > *Ground*]



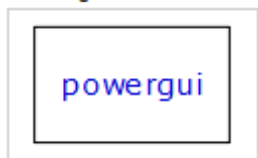
Scope

- Παλμογράφοι
[*Simulink* > *Sinks* > *Scope*]



Voltage Measurement

- Blocks για μέτρηση και απεικόνιση τάσης
[*SimPowerSystems* > *Measurements* > *Voltage Measurement*]



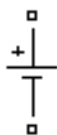
powergui

- Το block *powergui* για την προσομοίωση
[*SimPowerSystems* > *powergui*]

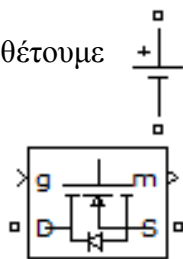
Εικ. 12.3

Διαδικασία σχεδίασης

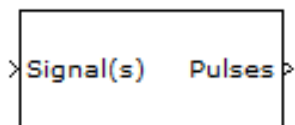
Εισάγουμε τα blocks και ρυθμίζουμε τις παραμέτρους τους.

DC Voltage Source: Στις παραμέτρους της τροφοδοσίας V_{dc} θέτουμε V_{dc}  **Amplitude (V): 20.**

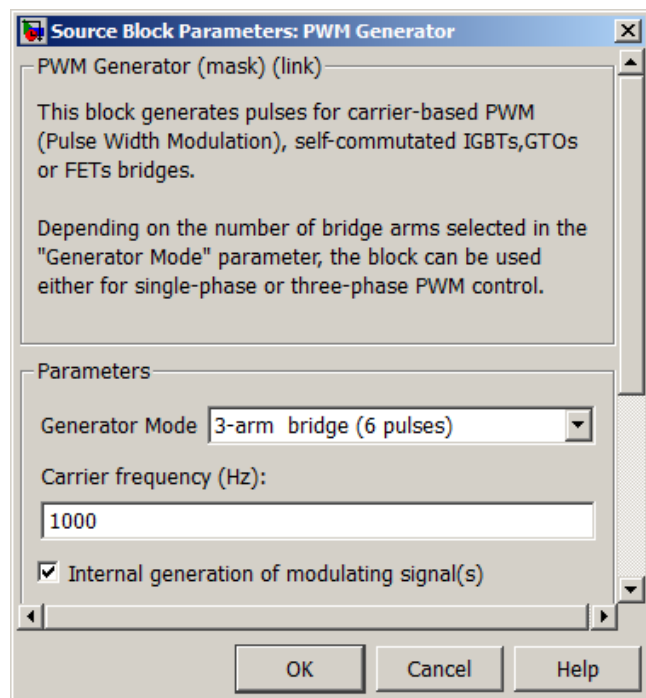
Τα έξι Mosfet εισάγονται και τοποθετούνται σε συνδεσμολογία γέφυρας σχηματίζοντας τρεις κλάδους. Οι M_1, M_3, M_5 συνδέονται από τους ακροδέκτες D (*drain*, εκροή) με το θετικό άκρο της V_{dc} . Οι M_4, M_6, M_2 συνδέονται από τους ακροδέκτες S (*source*, πηγή) με το αρνητικό άκρο της V_{dc} . Η πηγή του M_1 συνδέεται με την εκροή του M_4 (σημείο A) και ομοίως πηγή M_3 με εκροή M_6 (σημείο B), πηγή M_5 με εκροή M_2 (σημείο C).



Οι ακίδες m των Mosfet θα οδηγηθούν μέσω αποπολυπλεκτών (Demux) σε παλμογράφο για απεικόνιση τάσης και ρεύματος. Ενδεικτικά, για να μην επιβαρυνθεί πολύ το κύκλωμα θα απεικονιστούν τάσεις και ρεύματα μόνο των M_1 και M_4 .

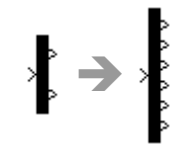


Οι παλμοί θα δωθούν από γεννήτρια παλμών PWM Generator (Pulse Width Modulation, διαμόρφωση εύρους παλμών). Με διπλό κλικ εισάγουμε τις παραμέτρους της. Για τριφασική λειτουργία της γεννήτριας επιλέγουμε *Generator Mode: 3-arm bridge (6 pulses)* και δίνουμε μια υψηλή συχνότητα, έστω *Carrier frequency (Hz): 1000* (φέρουσα συχνότητα) η οποία θα είναι και η συχνότητα εξόδου του αντιστροφέα.

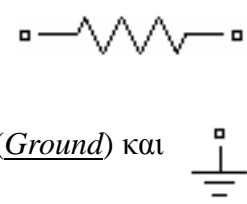


Εικ. 12.4

Η έξοδος της γεννήτριας PWM θα μοιραστεί στους ακροδέκτες g (πύλη) των Mosfet μέσω ενός αποπολυπλέκτη (Demux) με έξι εξόδους τις οποίες δημιουργούμε με διπλό κλικ στο block και εισαγωγή **6** στο πεδίο *Number of outputs*.



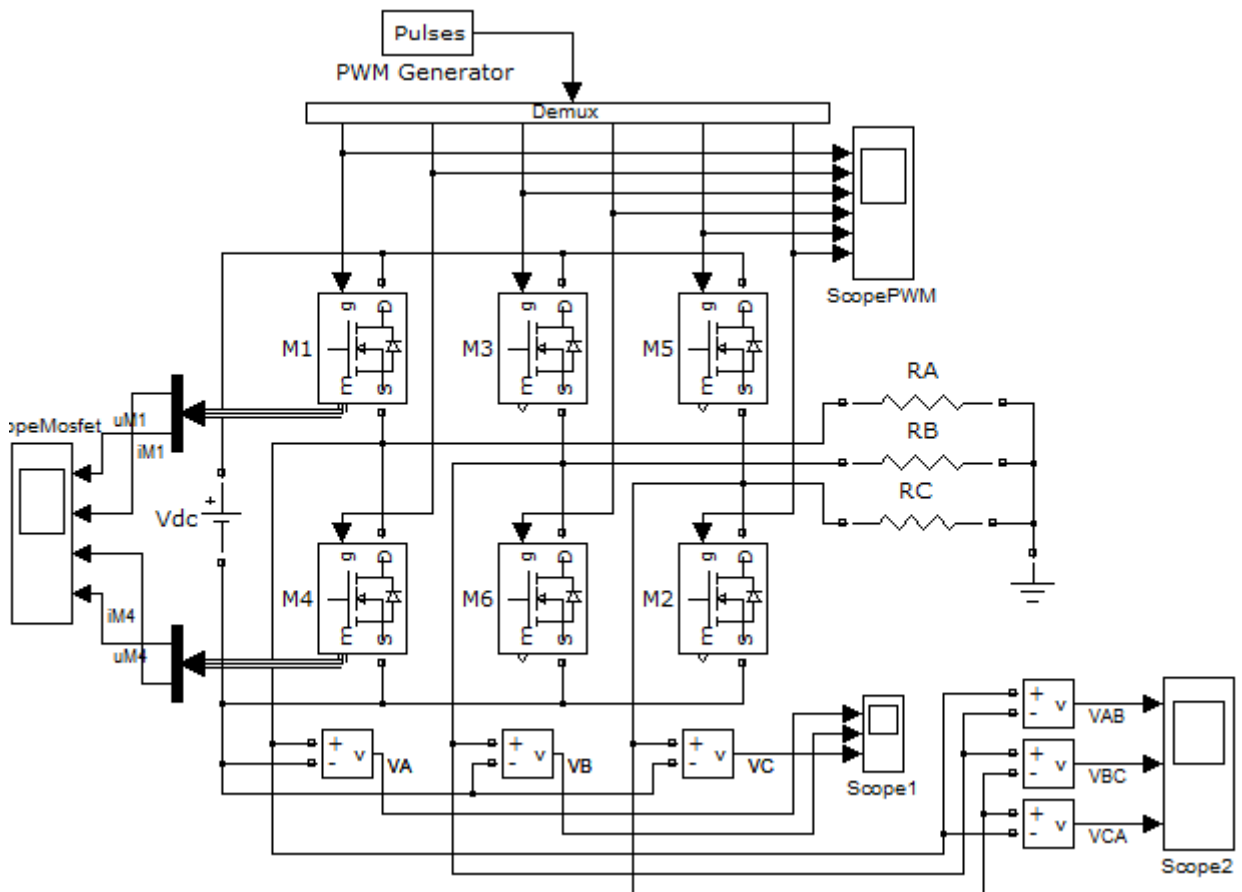
Series RLC Branch: Θα τοποθετηθούν τρεις ωμικές αντιστάσεις R_A, R_B, R_C . Και για τις τρεις ισχύει *Branch type: R, Resistance* (*Ohms*): έστω **1000**. Η R_A θα τοποθετηθεί με το ένα άκρο στη γείωση (Ground) και



το άλλο θα σχηματίσει κόμβο με την πηγή του M_1 και την εκροή του M_4 (σημείο A). Αναλόγως οι R_B, R_C θα συνδεθούν στα σημεία B, C .

Λόγω των αρκετών γραφικών παραστάσεων θα που απεικονιστούν και της πολυπλοκότητας του κυκλώματος συνίσταται η χρήση αρκετών παλμογράφων. Με διπλό κλικ σε κάθε block παλμογράφου (*Scope*) και *Parameters* επιλέγουμε τον αριθμό καναλιών. Ένας παλμογράφος με έξι κανάλια μπορεί να απεικονίζει τους παλμούς της γεννήτριας PWM. Ένας άλλος θα απεικονίζει τάσεις και ρεύματα των *Mosfet* M_1 και M_4 . Ένας παλμογράφος θα απεικονίζει τις τάσεις στα σημεία A, B, C και ένας ακόμη τις τάσεις μεταξύ των σημείων (u_{AB}, u_{BC}, u_{CA}).

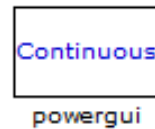
Στους δύο τελευταίους παλμογράφους θα χρησιμοποιηθούν blocks για μέτρηση τάσης (*Voltage Measurement*).



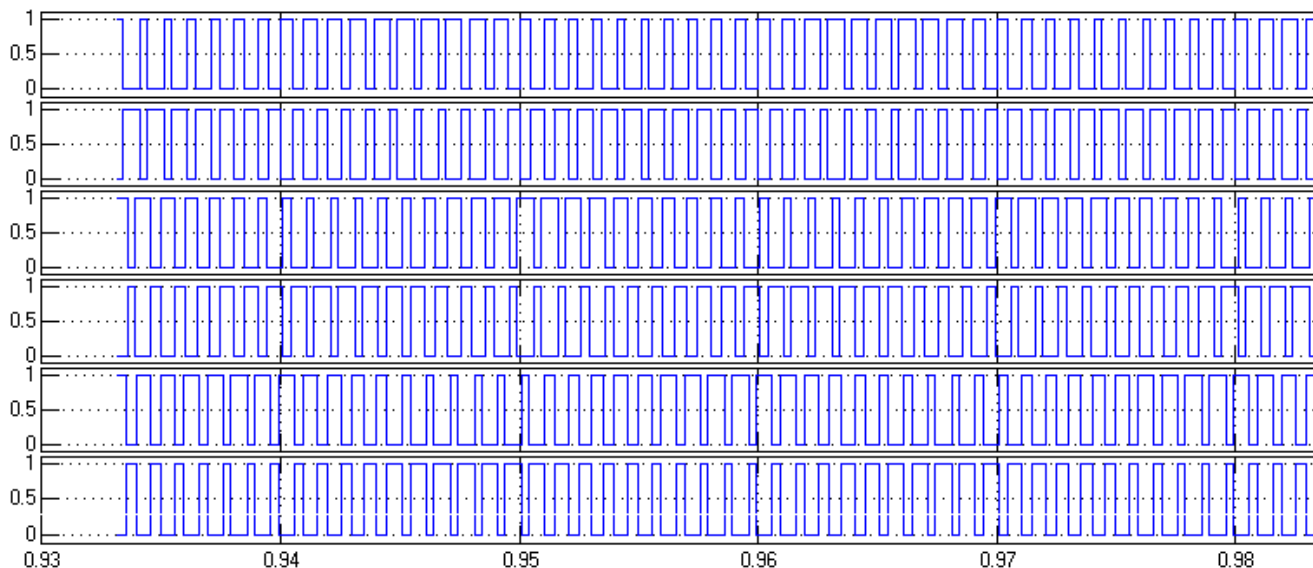
Εικ. 12.5

Προσομοίωση

Εισάγουμε το block *powergui*. Από το μενού *Simulation > Configuration Parameters...* εισάγουμε *Stop time: 1* και επιλέγουμε ως αλγόριθμο επίλυσης *Solver: ode23tb (stiff/TR-BDF2)*.

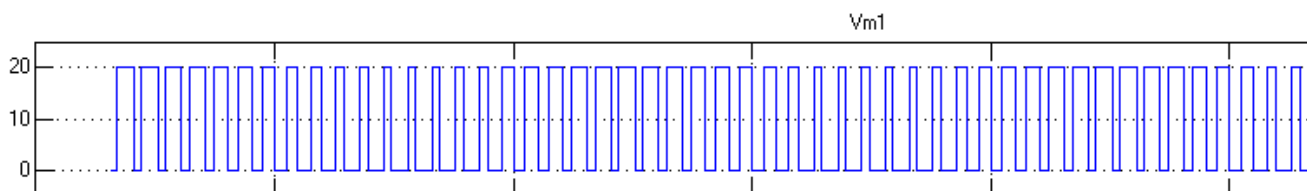


Εκτελούμε την προσομοίωση και ανοίγουμε με διπλό κλικ τους παλμογράφους. Η χρήση του εικονιδίου *Autoscale* προσαρμόζει αυτόματα τις κυματομορφές στην οθόνη.

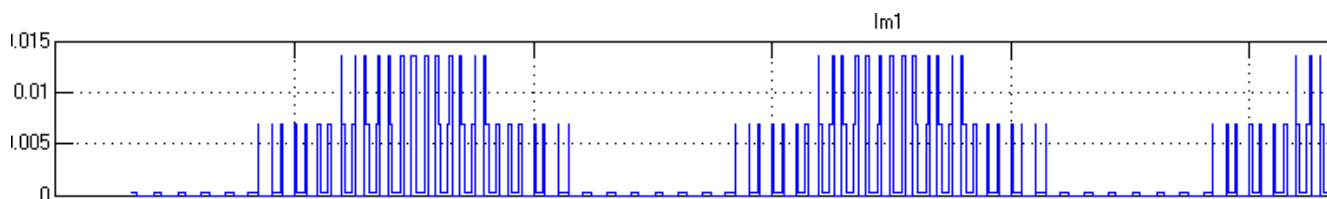


Εικ. 12.6: Οι παλμοί PWM της γεννήτριας που τροφοδοτούν τα *Mosfet*.

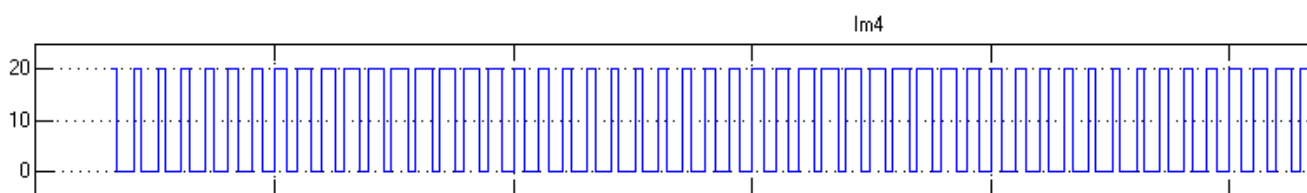
Η πρώτη παλμοσειρά αντιστοιχεί στον M_1 και η δεύτερη στον M_4 .



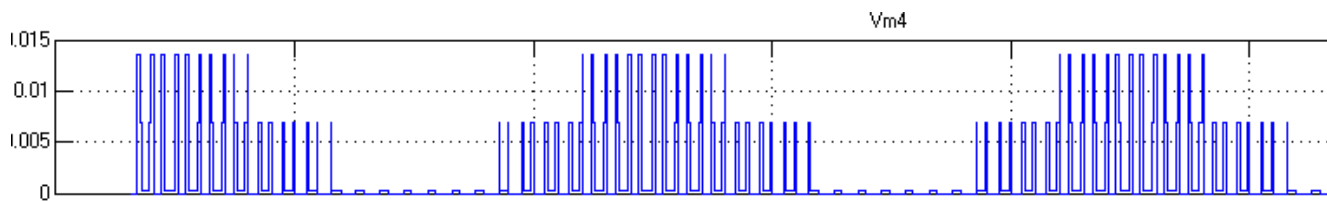
Εικ. 12.7: u_{M1} . Η τάση στα άκρα του *Mosfet* M_1 .



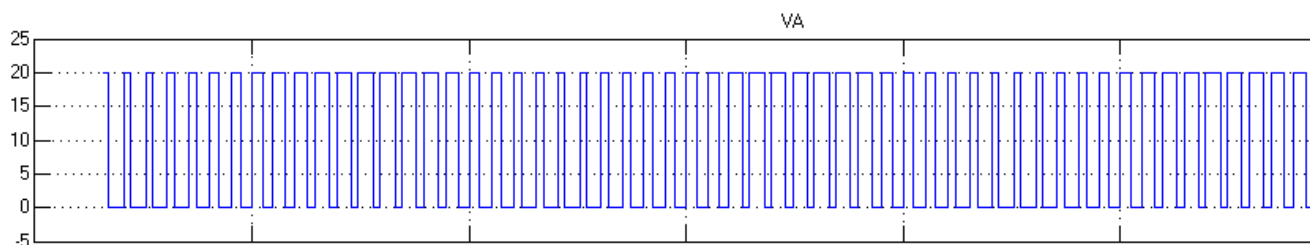
Εικ. 12.8: i_{M1} : Το ρεύμα που διαρρέει τον M_1 .



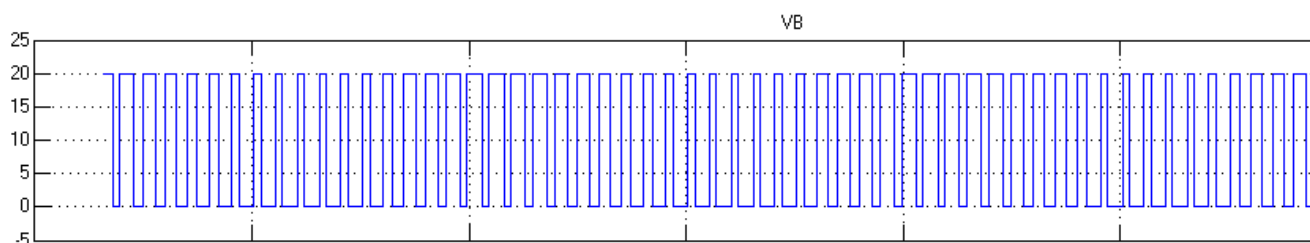
Εικ. 12.9: u_{M4} . Τάση του M_4 (από τη δεύτερη παλμοσειρά PWM).



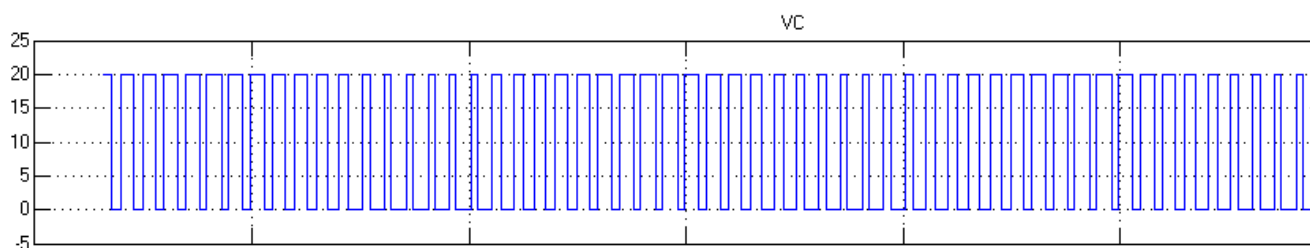
Εικ. 12.10: i_{M4} . Ρεύμα του M_4 (δεύτερη παλμοσειρά PWM).



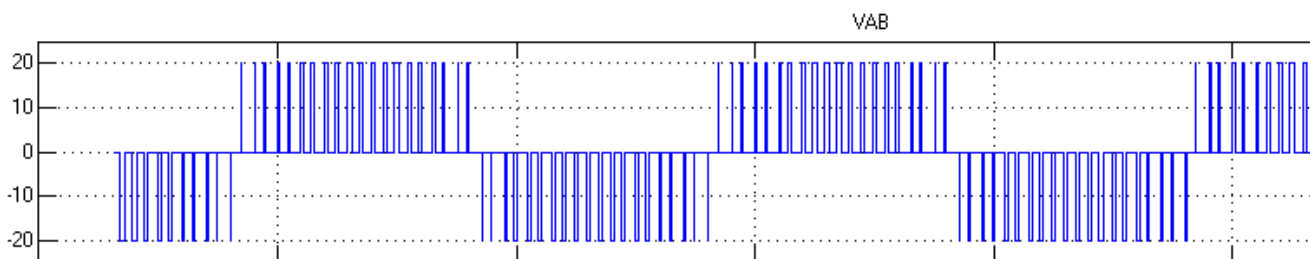
Εικ. 12.11: u_A . Η τάση στο σημείο A (στα άκρα της R_A).



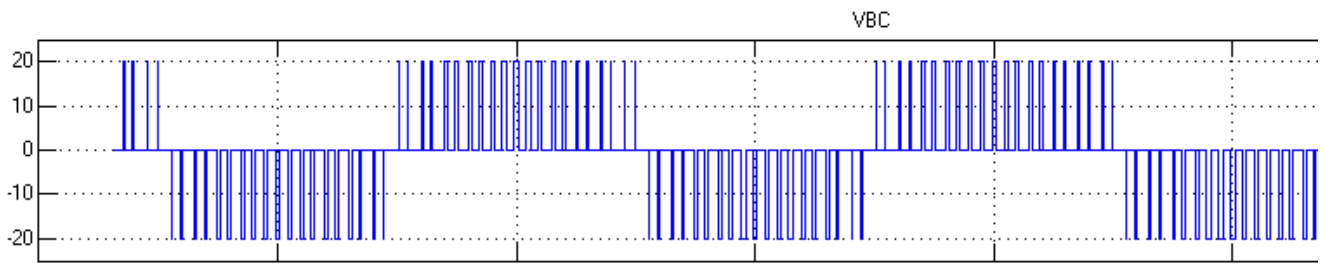
Εικ. 12.12: u_B . Η τάση στο σημείο B (στα άκρα της R_B).



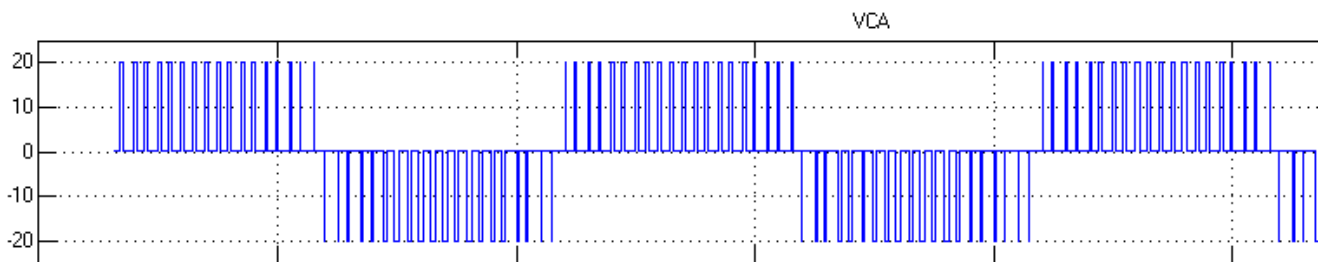
Εικ. 12.13: u_C . Η τάση στο σημείο C (στα άκρα της R_C).



Εικ. 12.14: u_{AB} . Η τάση εξόδου μεταξύ των σημείων A - B .



Εικ. 12.15: u_{BC} . Η τάση εξόδου μεταξύ των σημείων $B-C$.



Εικ. 12.16: u_{CA} . Η τάση εξόδου μεταξύ των σημείων $C-A$.

Παρατηρήσεις

Μέσω κατάλληλων φίλτρων στην έξοδο οι τάσεις u_{AB} , u_{BC} , u_{CA} μπορούν να αποκτήσουν ημιτονοειδή μορφή και να χρησιμοποιηθούν ως μια τριφασική πηγή με πλάτος 20V και περίοδο 1000Hz.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. The MathWorks Web Site (<http://www.mathworks.com/>)
2. Ι. Κιοσκερίδης, *Ηλεκτρονικά Ισχύος*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2008
3. Π. Δημητριάδης, *Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων ηλεκτρονικών ισχύος*, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, 2010
4. B.K. Bose, *Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends*, Academic Press, 2006
5. B.K. Bose, *Modern Power Electronics and AC Drives*, Prentice Hall, 2002
6. *Power Electronics Handbook*, Academic Press, 2001
7. Marian P. Kazmierkowski, R. Krishnan, Frede Blaabjerg, *Control in Power Electronics: Selected Problems*, Elsevier Science (USA), 2002
8. *SimPowerSystems™ 5 User's Guide*, The MathWorks, Inc., April 2011
9. Denis Fewson, *Introduction to Power Electronics*, Arnold (London), 1998