

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΧΡΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ  
ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ  
ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ ΤΗΣ  
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ  
ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΤΖΙΡΑΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2015**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΧΡΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ  
ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ  
ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ ΤΗΣ  
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ  
ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : [ΤΖΙΡΑΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ]**

**ΑΜ : [4678]**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος.....	5
Κεφάλαιο 1: ΔΙΟΔΟΣ .....	6
1.1 Γενικά.....	6
1.2 Βασικά Κυκλώματα Διόδων.....	9
1.2.1 Απλή Ανόρθωση ή Ημιανόρθωση.....	9
1.2.2 Διπλή ή Πλήρης Ανόρθωση .....	11
1.2.3 Πλήρης ή διπλή ανόρθωση με φίλτρο πυκνωτή.....	12
Κεφάλαιο 2: THYRISTOR .....	14
2.1:Γενικά.....	14
2.2:Βασικά Κυκλώματα Thyristor.....	17
2.2.1 Απλή Ανόρθωση Παλμού Με Θυρίστορ.....	17
2.2.2:Διπλή Ανόρθωση με Γέφυρα Θυρίστορ .....	22
2.2.3:Τριφασική Ανόρθωση Θυρίστορ.....	32
2.2.4: Τριφασικός ανορθωτής γέφυρας 6 παλμών.....	38
Κεφάλαιο 3:IGBT .....	42
3.1:Γενικά .....	42
3.2:Μονοφασικός Inverter .....	44
Επίλογος-Συμπεράσματα .....	49
Βιβλιογραφία .....	50

## Περίληψη

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία εξετάστηκαν βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα σε κάποιες βασικές συνδεσμολογίες. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που εξετάστηκαν είναι η δίοδος, το θυρίστορ και το τρανζίστορ IGBT.

Τα κυκλώματα που χρησιμοποιούν τα παραπάνω εξαρτήματα προσομοιώθηκαν μέσω του προγράμματος σχεδίασης ηλεκτρονικών ισχύος σε H/Y PSIM.

Εξετάστηκαν με τη σειρά που παρουσιάζονται τα παρακάτω κυκλώματα:

1. Ημιανόρθωση με δίοδο
2. Πλήρης ανόρθωση με γέφυρα διόδων
3. Πλήρης ανόρθωση με φίλτρο πυκνωτή
4. Ημιανόρθωση με θυρίστορ με έλεγχο σε διάφορες γωνίες έναυσης
5. Πλήρης ανόρθωση με θυρίστορ με έλεγχο σε διάφορες γωνίες έναυσης
6. Τριφασική ημιανόρθωση με θυρίστορ με έλεγχο σε διάφορες γωνίες έναυσης
7. Τριφασική πλήρης ανόρθωση με θυρίστορ με έλεγχο σε διάφορες γωνίες έναυσης
8. Κύκλωμα inverter (αντιστροφέα) με τη χρήση γέφυρας IGBT

Στα παραπάνω κυκλώματα έγινε μελέτη και ανάλυσή τους μέσω γραφικών παραστάσεων εισόδων και εξόδων, μετρήσεων διαφορών ειδών (μέσων τιμών, ενεργών τιμών, μέγιστων τιμών).

Σε κάποια από αυτά έγινε ανάλυση Fourier για την εύρεση των βασικών αρμονικών συχνοτήτων.

## **Abstract**

In this thesis basic electronic components have been examined in some basic configurations. The electronic components which have been examined are the diode, the thyristor and the IGBT transistor.

Basic electronic circuits have been designed and simulated through the PSIM program for simulation of power electronic circuits.

They have been simulated the following circuits:

1. Half wave rectifier using a diode
2. Full wave rectifier using a diode bridge
3. Full wave rectifier with filter capacitor
4. Half wave rectifier with thyristor for different firing angles
5. Full wave rectifier with thyristor for different firing angles
6. Three phase half wave rectifier with thyristor for different firing angles
7. Three phase full wave rectifier with thyristor for different firing angles
8. Inverter circuit using an IGBT bridge

In the above circuits analysis have been carried out through graphs of inputs and outputs, measurements of various kinds (mean values, rms values, maximum values etc).

In some of the circuits a Fourier analysis have been performed for finding the basic harmonics.

## **Πρόλογος**

Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών και η σχεδίαση νέων διατάξεων ήταν αρκετά γρήγορη από την αρχή της ανακάλυψης των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, οπότε ήταν αναγκαία η χρήση νέων υλικών. Από τις μεγάλες λυχνίες με τις περιορισμένες δυνατότητες έχουμε φτάσει στα ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία είναι μικρά σε μέγεθος και πολύ μεγάλα σε δυνατότητες που μπορούν να εκτελούν και να συνδυάζουν εκατομμύρια εντολές το δευτερόλεπτο. Κλείνοντας θα μέσα από αυτήν την εργασία θα θέλαμε να δείξουμε ορισμένες από τις δυνατότητες των ολοκληρωμένων.

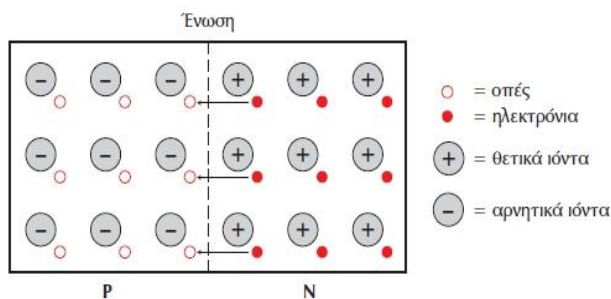
## Κεφάλαιο 1: ΔΙΟΔΟΣ

### 1.1 Γενικά

Η δίοδος είναι ένα από τα βασικότερα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, σχηματίζεται όταν έναν κομμάτι ημιαγωγού τύπου N έρθει σε επαφή με ένα άλλο κομμάτι τύπου P και με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η δίοδος PN.

Το κομμάτι τύπου N έχει έναν μικρό αριθμό οπών, θετικά ιόντα πεντασθενούς στοιχείου και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Στο κομμάτι τύπου P έχει πολλές οπές και μικρό αριθμό ηλεκτρονίων, τέλος έχει και αρνητικά ιόντα τρισθενούς στοιχείου. Τη στιγμή της σχεδίασης της διόδου, τα ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό τύπου N που βρίσκονται πλησιέστερα στο σημείο της ένωσης θα κατευθυνθούν στον ημιαγωγό τύπου P ώστε να συνδεθούν με τις οπές που βρίσκονται εκεί.

Δεξιά από το σημείο της ένωσης στον ημιαγωγό τύπου N δημιουργείται ένα σημείο με θετικά ιόντα και χωρίς ηλεκτρόνια, στα αριστερά από το σημείο της ένωσης δηλαδή στον ημιαγωγό τύπου P δημιουργείται ένα σημείο με αρνητικά ιόντα χωρίς οπές.



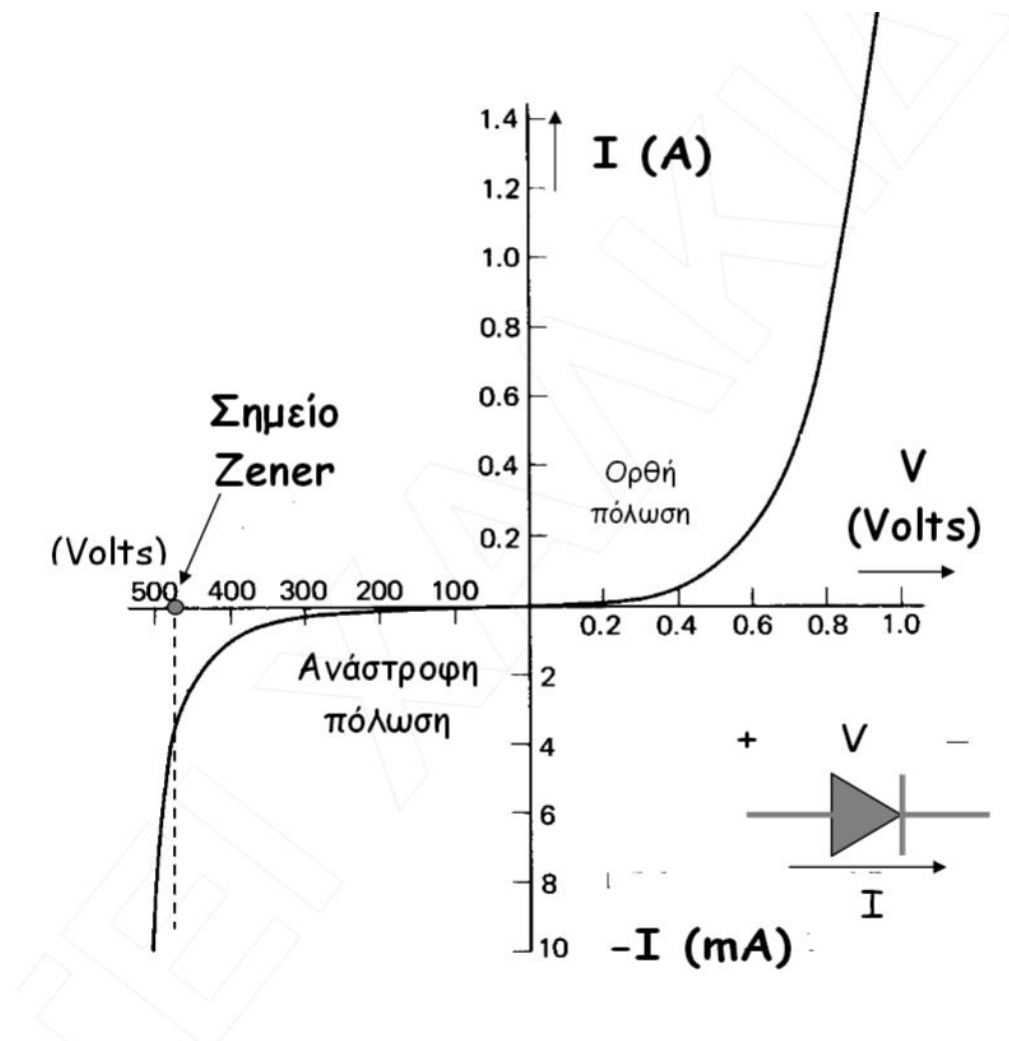
Σχήμα 3.1.1. Επαφή PN

Σχήμα 1

Η δίοδος μπορεί να συνδεθεί σε ορθή ή ανάστροφη πόλωση. Όταν έχει ορθή πόλωση την περιοχή P συνδέεται με τον θετικό πόλο και το τμήμα N με τον αρνητικό πόλο. Αυτό σημαίνει πως τα ηλεκτρόνια θα μετακινηθούν από το τμήμα N στο τμήμα P και θα επανασυνδεθούν με οπές κινούμενα προς τον θετικό πόλο της πηγής.

Στην πόλωση με ανάστροφη φορά ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδέεται με την περιοχή P και ο θετικός πόλος της πηγής συνδέεται με την περιοχή N της διόδου. Στο τμήμα P ηλεκτρόνια από την πηγή καλύπτουν τις οπές και στο τμήμα N τα ηλεκτρόνια φεύγουν και πηγαίνουν προς τον θετικό πόλο της πηγής. Με τον τρόπο αυτό «αδειάζει» ο ημιαγωγός από οπές και ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας μιας διόδου σε ορθή και ανάστροφη πόλωση υπάρχει η χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου.



Σχήμα 2: Χαρακτηριστική της διόδου

Στο σχήμα απεικονίζονται οι τρεις περιοχές της διόδου: η περιοχή της τάσης Zener, η περιοχή ορθής πόλωσης και η περιοχή ανάστροφης πόλωσης .

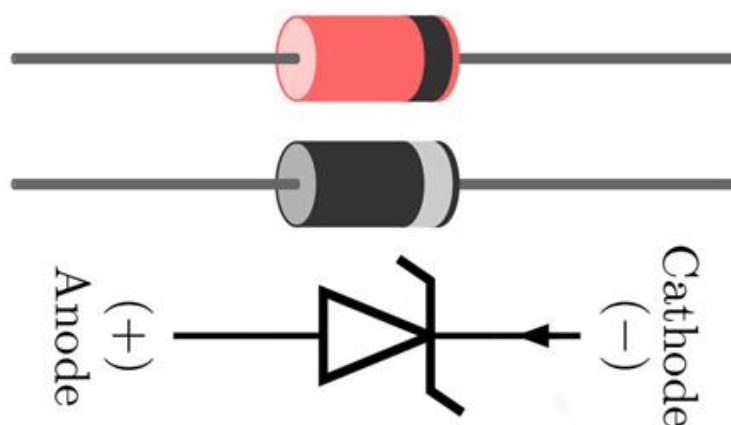
1. Περιοχή της τάσης Zener ή αλλιώς τάση διάσπασης: δείχνει μία αρνητική τάση και μεγάλο ρεύμα.



2. Περιοχή ορθής πόλωσης: δείχνει μια μικρή θετική τάση και μεγάλο ρεύμα.
3. Περιοχή ανάστροφης πόλωσης: εκφράζει το μικρό αρνητικό ρεύμα και την αρνητική τάση.

Για την καλύτερη εξυπηρέτηση όλων των εφαρμογών ,υπάρχουν διάφορα είδη διόδων:

1. **Δίοδοι Schotky:** Αυτές οι διόδου χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα όπου απαιτείται μικρή ορθή πτώση τάσης , δηλαδή σε κυκλώματα με πολύ μικρή τάση εξόδου. Αυτές οι διόδου έχουν περιορισμένες περιοχές τάσης μέχρι 50-100 Volt.
2. **Δίοδοι ταχείας αποκατάστασης:** Σχεδιάζονται για χρήση σε υψηλής συχνότητας κυκλώματα με ελεγχόμενους διακόπτες ,όπου απαιτείται ελάχιστος χρόνος ανάστροφης αποκατάστασης.
3. **Δίοδοι συχνότητας δικτύου:** Η τάση αγωγιμότητας σχεδιάστηκε ώστε να είναι η ελάχιστη επιτρεπτή έτσι έχουν μεγαλύτερους χρόνους, που είναι αποδεκτοί μόνο στις συχνότητες του δικτύου.



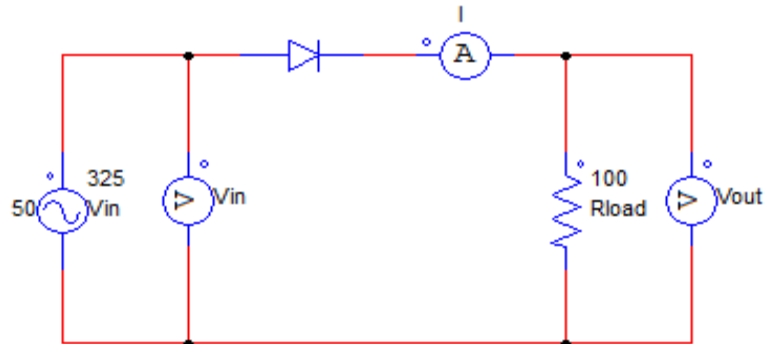
Σχήμα 3: Σύμβολο της διόδου

## 1.2 Βασικά Κυκλώματα Διόδων

Οι διόδοι είναι βασικά εξαρτήματα για την ανόρθωση του εναλλασσομένου ηλεκτρικού ρεύματος. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε την ανόρθωση την μονοφασική απλή και διπλή.

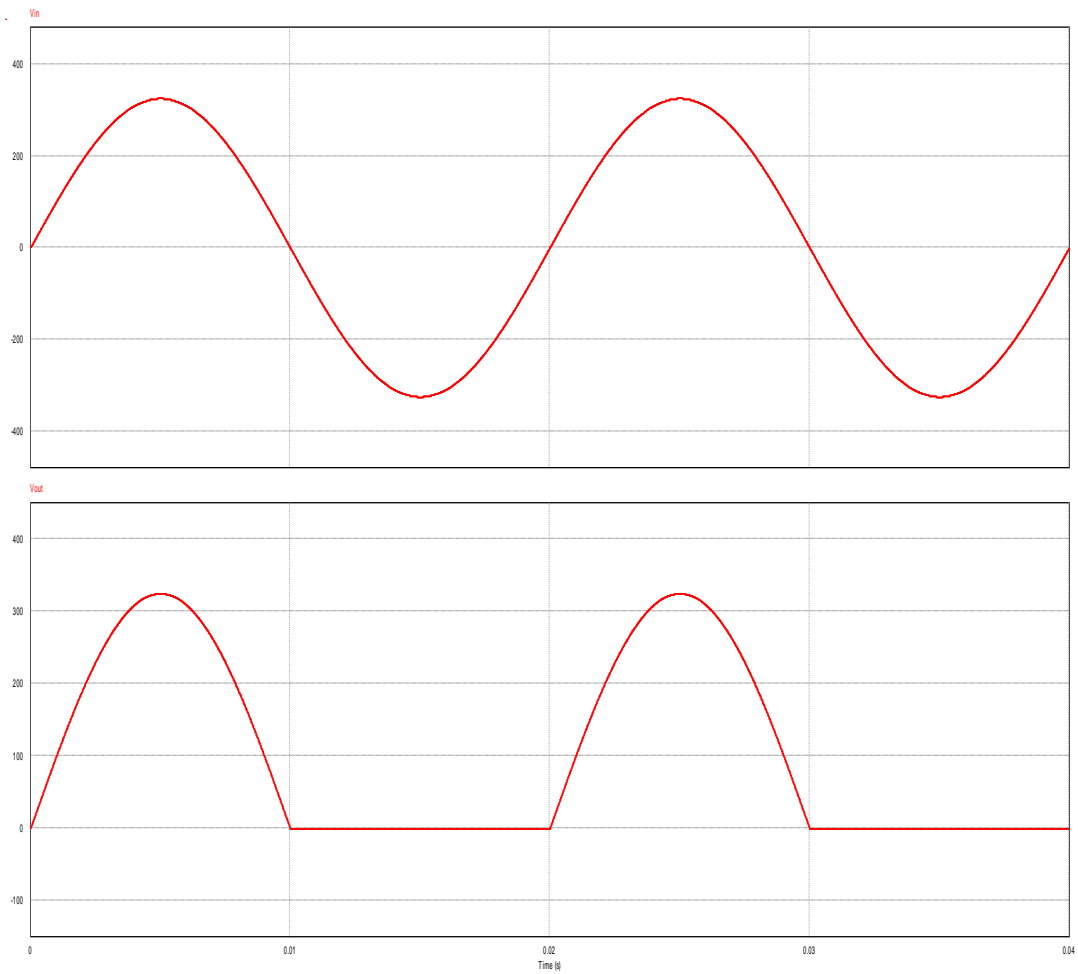
### 1.2.1 Απλή Ανόρθωση ή Ημιανόρθωση

Το κύκλωμα της απλής ανόρθωσης φαίνεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4: Κύκλωμα απλής ανόρθωσης

Στο παραπάνω κύκλωμα θεωρώ εναλλασσόμενη τάση 50 Hz, πλάτους 325 V αντίσταση 100 Ω. Οι κυματομορφές της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου παρουσιάζονται στο σχήμα 5.

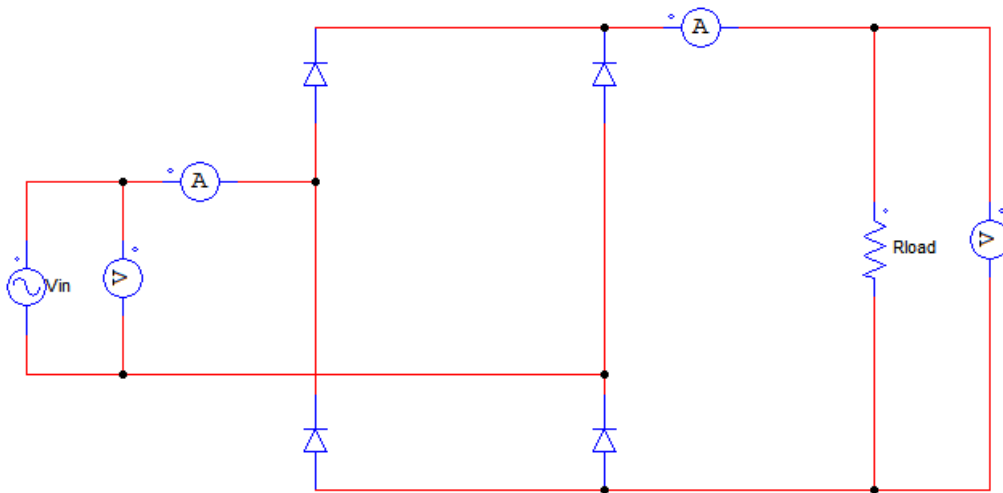


*Σχήμα 5:Κυματομορφές τάσης εισόδου και εξόδου*

Στην κυματομορφή της τάσης εισόδου δημιουργείται ένα ημιτονοειδές κύμα με στιγμιαία τιμή την τιμή εισόδου και τιμή κορυφής. Στην τάση εξόδου η κυματομορφή άγει μόνο κατά τις θετικές ημιπεριόδους, η κυματομορφή αυτή ονομάζεται σήμα ημικύματος. Η τάση ημικύματος δημιουργεί ρεύμα φορτίου μιας κατεύθυνσης ,άρα το ρεύμα έχει μία και μόνο φορά.

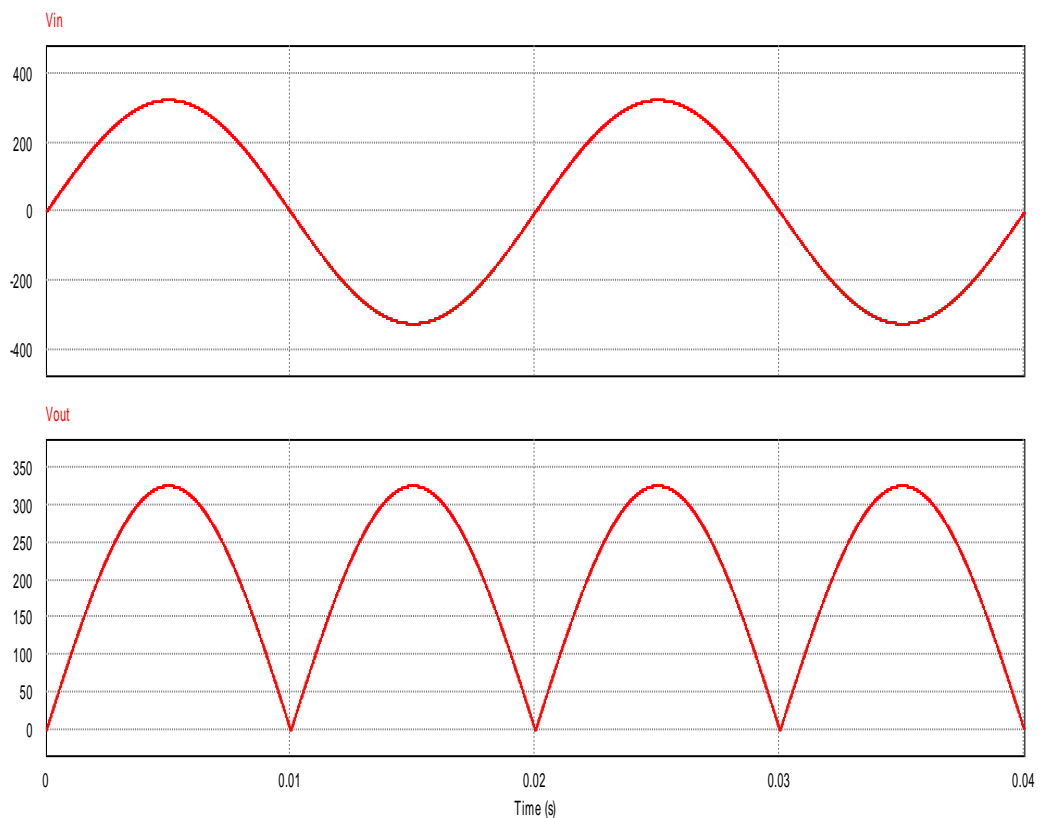
## 1.2.2 Διπλή ή Πλήρης Ανόρθωση

Το κύκλωμα της πλήρους ανόρθωσης φαίνεται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6: Κύκλωμα πλήρους ή διπλής ανόρθωσης

Στο παραπάνω κύκλωμα θεωρώ εναλλασσόμενη τάση 50 Hz, πλάτους 325 V αντίσταση 100 Ω.

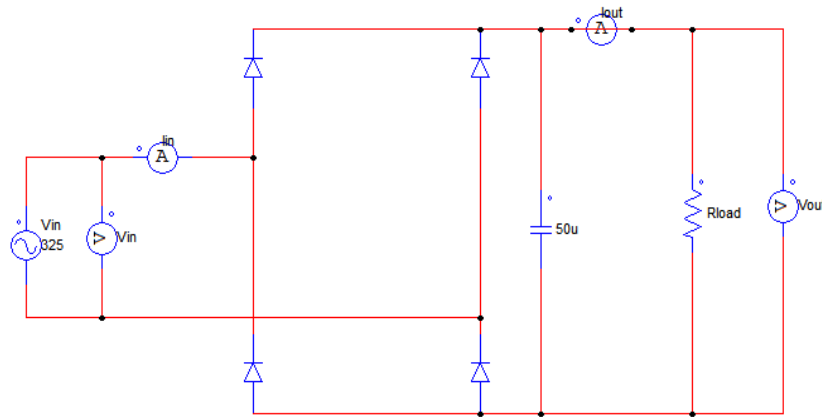


Σχήμα 7: Κομματομορφές τάση εισόδου και τάσης εξόδου διπλής ανόρθωσης

Παρατηρούμε πως και στις δύο ημιπεριόδους, η τάση φορτίου έχει την ίδια πολικότητα και το ρεύμα μία κατεύθυνση, λόγω της πλήρους ανόρθωσης η συνεχής τάση εισόδου μεταβάλλεται σε παλμική συνεχή τάση εξόδου.

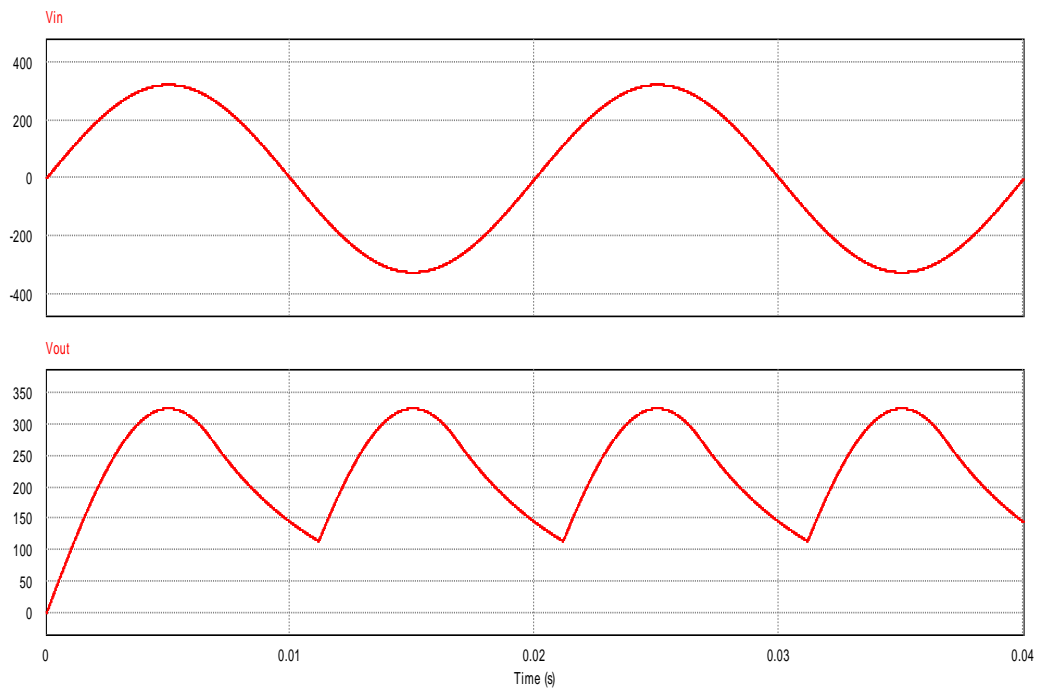
### 1.2.3 Πλήρης ή διπλή ανόρθωση με φίλτρο πυκνωτή

Το κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με φίλτρο πυκνωτή δίνεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 8: Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με φίλτρο πυκνωτή

Στο παραπάνω κύκλωμα θεωρώ εναλλασσόμενη τάση 50 Hz, πλάτους 325 V αντίσταση 100 Ω και φορτίο πυκνωτή 50μF.



Σχήμα 9: Κυματομορφές τάσης εισόδου και τάσης εξόδου

Σε κυματομορφές όπως του σχήματος 9 η τάση εξόδου είναι αποκομμένη, διότι ο πυκνωτής που προσθέσαμε λειτουργεί σαν διακόπτης, όταν φορτίζεται με την μέγιστη τάση η δίοδος άγει και όταν αποφορτιστεί η δίοδος παύει να άγει, έτσι εξηγείται και η μορφή της κυμάτωσης στην έξοδο, η οποία οφείλεται στο χρόνο απόκρισης του πυκνωτή.

## Κεφάλαιο 2: THYRISTOR

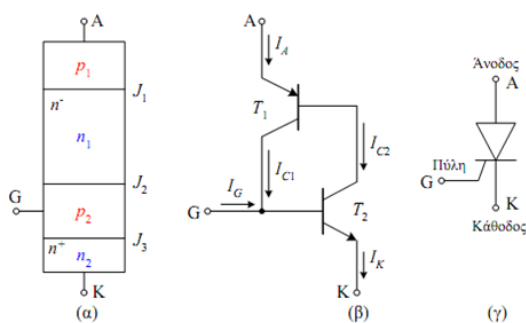
### 2.1: Γενικά

Ο όρος "θυρίστορ", προσδιορίζει συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρικοί ελεγχόμενοι διακόπτες. Κάθε μία από αυτές τις συσκευές μπορεί να μεταβάλλεται μεταξύ μιας αγώγιμης (on) κατάστασης και μιας μη αγώγιμης (off) κατάστασης, ώστε να επιτρέπει ή να σταματά, αποτελεσματικά, τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπλέον, κάποια θυρίστορ έχουν τη δυνατότητα να διακόπτουν τη ροή του ρεύματος, σε μία κατεύθυνση, ενώ άλλα θυρίστορ δύνανται να διακόπτουν τη ροή του ρεύματος, σε κάθε κατεύθυνση.

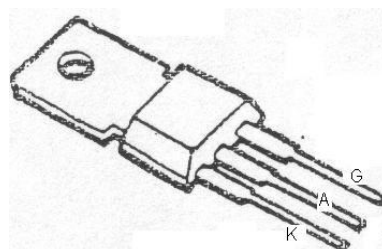
Τα θυρίστορ χρησιμοποιούνται, ευρέως, σε εφαρμογές, όπου πρέπει να ελεγχθεί φορτίο ισχύος DC και AC. Μεγάλη ποικιλία από αυτά είναι σήμερα διαθέσιμα, όπως ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου SCR (Silicon Controlled Rectifier), το GTO (Gate Turn-Off), ο ελεγχόμενος διακόπτης πυριτίου SCS (Silicon Controlled Switch), το DIAC (Diode Alternating Current) και το TRIAC (TRIode Alternating Current).

Ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου SCR είναι το κυριότερο μέλος της οικογένειας των thyristors και συχνά, καταχρηστικά, αναφέρεται με το όνομα ολόκληρης της οικογένειας. Όπως συνεπάγεται και το όνομά του, είναι, κυρίως, ένας ανορθωτής, ο οποίος άγει ρεύμα σε μία μόνο κατεύθυνση. Εν τούτοις, μπορεί να μετατραπεί έτσι, ώστε να άγει (turn on) ή να σταματήσει να άγει (turn off), ώστε να χρησιμοποιηθεί ως διακόπτης, για τον έλεγχο ηλεκτρικού ρεύματος.

Το σύμβολο του θυρίστορ φαίνεται στο σχήμα 10, ενώ στο σχήμα 11 παρουσιάζεται ένα θυρίστορ στη μορφή που το συναντάμε.



Σχήμα 10: Κυκλωματικό σύμβολο



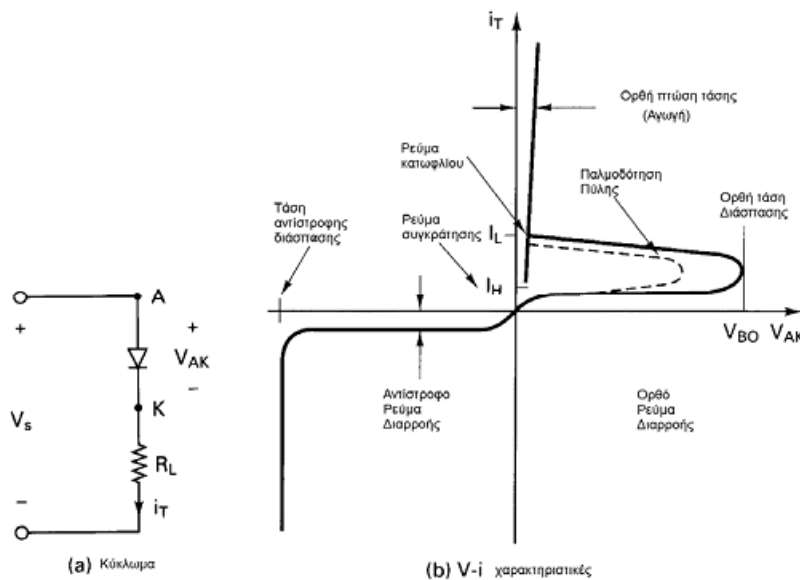
Σχήμα 11: Θυρίστορ

K= Κάθοδος  
A= Άνοδος  
G=Πύλη (Gate)

Ένα απλουστευμένο διάγραμμα του SCR παρουσιάζεται στο Σχήμα 10. Όπως φαίνεται τα τέσσερα στρώματα του SCR (PNPN) περιβάλλονται, όλα μαζί, από τρεις επαφές. Εν τούτοις, ακροδέκτες συνδέονται σε τρία, μόνο, από τα τέσσερα στρώματα.

Οι τρεις αυτοί ακροδέκτες αναφέρονται ως άνοδος, κάθοδος και πύλη. Από τη δομή αυτή προκύπτει το ισοδύναμο κύκλωμα του SCR, το οποίο αποτελείται από δύο διπολικά transistor σε συνδεσμολογία θετικής ανάδρασης σχήμα 10.

Όταν η άνοδος είναι θετική ως προς την κάθοδο οι επαφές J1 και J3 πολώνονται ορθά. Η επαφή J2 είναι αντίστροφα πολωμένη και μόνο ένα μικρό ρεύμα διαρροής ρέει από την άνοδο στην κάθοδο. Τότε το thyristor λέγεται ότι είναι στην κατάσταση ορθής ή θετικής αποκοπής και το ρεύμα διαρροής είναι γνωστό σαν ρεύμα αποκοπής  $I_D$ . Αν η τάση ανόδου καθόδου  $V_{AK}$  αυξηθεί σε μια αρκετά μεγάλη τιμή τότε η επαφή J3 διασπάται. Αυτή η διάσπαση είναι γνωστή με το όνομα διάσπαση κατάρρευσης και η αντίστοιχη τιμή τάσης στην οποία συμβαίνει η διάσπαση λέγεται τάση ορθής διάσπασης  $V_{BO}$ . Αφού οι άλλες δύο επαφές είναι ήδη ορθά πολωμένες θα υπάρξει ελεύθερη κίνηση φορέων και από τις τρεις επαφές με αποτέλεσμα ένα μεγάλο θετικό ανοδικό ρεύμα. Το στοιχείο τότε λέγεται ότι βρίσκεται στην κατάσταση αγωγής. Η πτώση τάσης που οφείλεται στην ωμική πτώση τάσης στα τέσσερα στρώματα είναι μικρή, περίπου 1 V. Στην κατάσταση αγωγής, το ανοδικό ρεύμα περιορίζεται μόνο με μια εξωτερική αντίσταση όπως φαίνεται στο σχήμα 12 (a). Το ανοδικό ρεύμα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από μια ελάχιστη τιμή που είναι γνωστή σαν ρεύμα κατωφλίου  $I_L$  για να διατηρηθεί η αγωγή, διαφορετικά το στοιχείο επιστρέφει στην κατάσταση αποκοπής καθώς η τάση ανόδου καθόδου μειώνεται. Το ρεύμα κατωφλίου είναι το ελάχιστο ανοδικό ρεύμα που χρειάζεται για να κρατήσει το thyristor στην κατάσταση αγωγής μετά την έναυση και την απομάκρυνση του σήματος πύλης. Μια τυπική χαρακτηριστική τάσης ρεύματος φαίνεται στο σχήμα 12 (b).



Σχήμα 12(a) κύκλωμα thyristor- (b) χαρακτηριστική τάσης ρεύματος

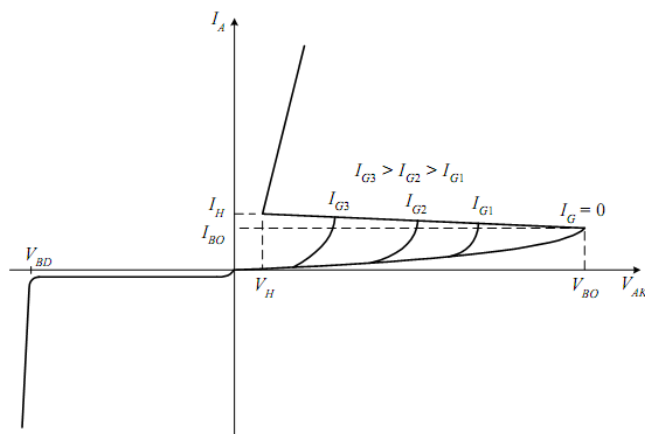
Εφόσον ένα thyristor άγει, συμπεριφέρεται σαν δίοδος που άγει και δεν υπάρχει πλέον έλεγχος στο στοιχείο. Το στοιχείο θα συνεχίσει να άγει αλλά αν το



ανοδικό ρεύμα μειωθεί κάτω από μια ορισμένη τιμή που λέγεται ρεύμα συγκράτησης  $I_H$  μια περιοχή εξουδετέρωσης αναπτύσσεται στην επαφή J2 λόγω του μειωμένου αριθμού φορέων και τελικά το thyristor οδηγείται στην κατάσταση αποκοπής. Το ρεύμα συγκράτησης είναι στην περιοχή των mA και είναι πάντα μικρότερο από το ρεύμα κατωφλίου. Όταν η καθοδική τάση είναι πιο θετική από την ανοδική, η επαφή J2 πολώνεται ορθά αλλά οι επαφές J1 και J3 είναι αντίστροφα πολωμένες. Αυτό μοιάζει με δύο αντίστροφα πολωμένες διόδους συνδεδεμένες σε σειρά. Το thyristor θα βρίσκεται στην κατάσταση αντίστροφης αποκοπής και στο στοιχείο ρέει ένα αντίστροφο ρεύμα διαρροής που είναι γνωστό σαν αντίστροφο ρεύμα  $I_R$ .

Ένα thyristor μπορεί να ανάψει με αύξηση της ορθής τάσης  $V_{AK}$  αλλά μια τέτοια έναυση είναι καταστροφική. Στην πράξη η ορθή τάση διατηρείται κάτω από το όριο  $V_{BO}$  και το thyristor ανάβει με την εφαρμογή μιας θετικής τάσης μεταξύ πύλης και καθόδου. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 13 με μια διακεκομμένη γραμμή. Εφόσον ένα thyristor ανάψει με ένα σήμα πύλης και το ανοδικό του ρεύμα είναι πάνω από το ρεύμα συγκράτησης, το στοιχείο συνεχίζει να άγει έστω και αν το σήμα πύλης απομακρυνθεί.

Το thyristor ανάβει με αύξηση του ανοδικού του ρεύματος. Αυτό μπορεί να συμβεί με εφαρμογή παλμού ρεύματος στην πύλη ή με την υπέρβαση της τάσης αποκοπής ή όταν η ταχύτητα μεταβολής της τάσης μεταξύ ανόδου και καθόδου υπερβεί μια μέγιστη τιμή. Από τους τρεις τρόπους έναυσης μόνο ο πρώτος είναι έγκυρος, ενώ οι άλλοι δύο πρέπει να αποφεύγονται. Σε αυτήν την μέθοδο αν το thyristor είναι ορθά πολωμένο, η εισαγωγή ρεύματος πύλης  $I_G$  με την εφαρμογή θετικής τάσης πύλης μεταξύ ακροδεκτών πύλης και καθόδου θα ανάψει το thyristor. Καθώς το ρεύμα πύλης αυξάνει, η τάση ορθής πόλωσης μειώνεται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



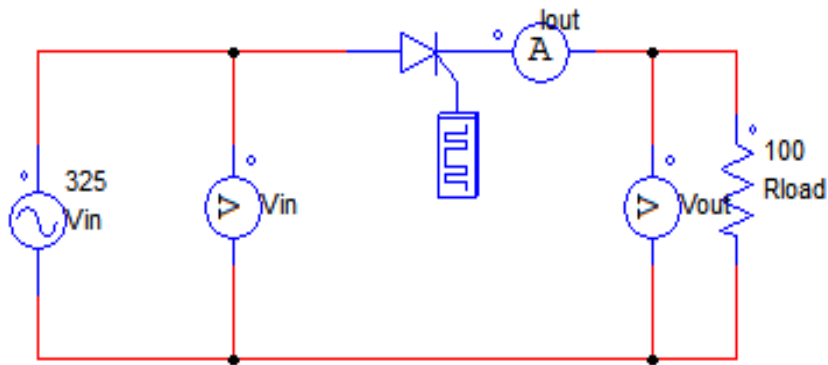
Σχήμα 13

## 2.2:Βασικά Κυκλώματα Thyristor

Τα thyristor χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα με μεγάλες τάσεις διότι παρέχουν προστασία από υπερθερμάνσεις που μπορεί να προκληθούν κυρίως σε εγκαταστάσεις που υπάρχουν κινητήρες.

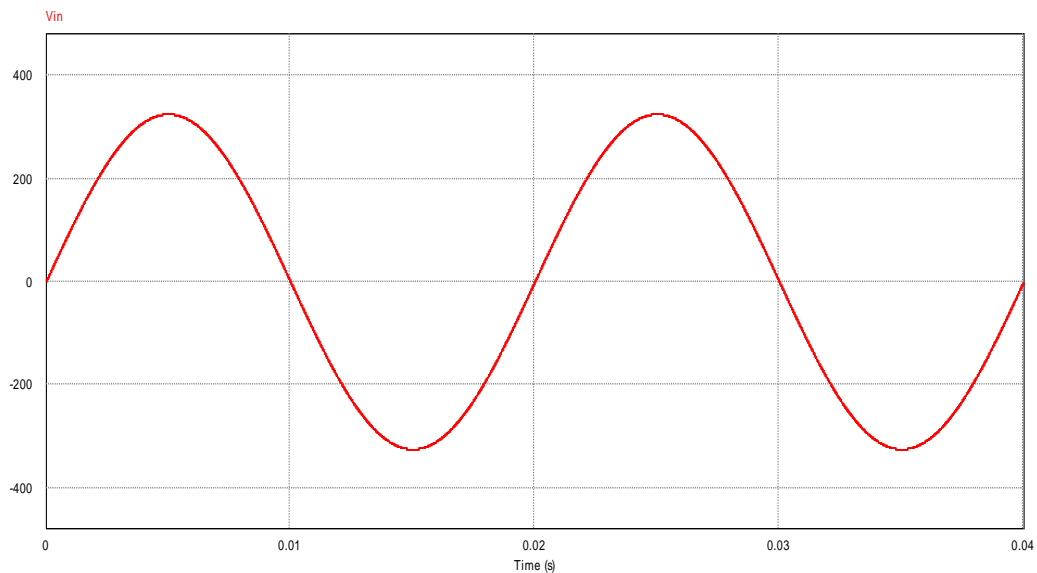
### 2.2.1 Απλή Ανόρθωση Παλμού Με Thyristor

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα απλής ανόρθωσης παλμού με thyristor.

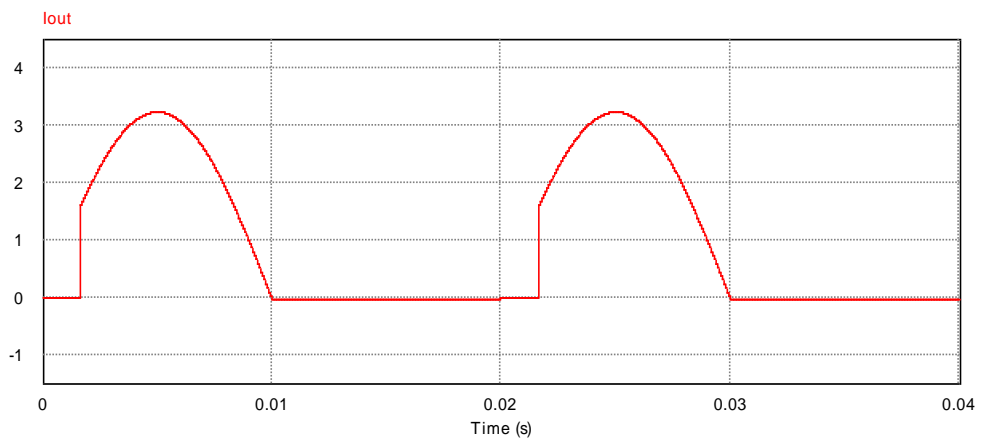
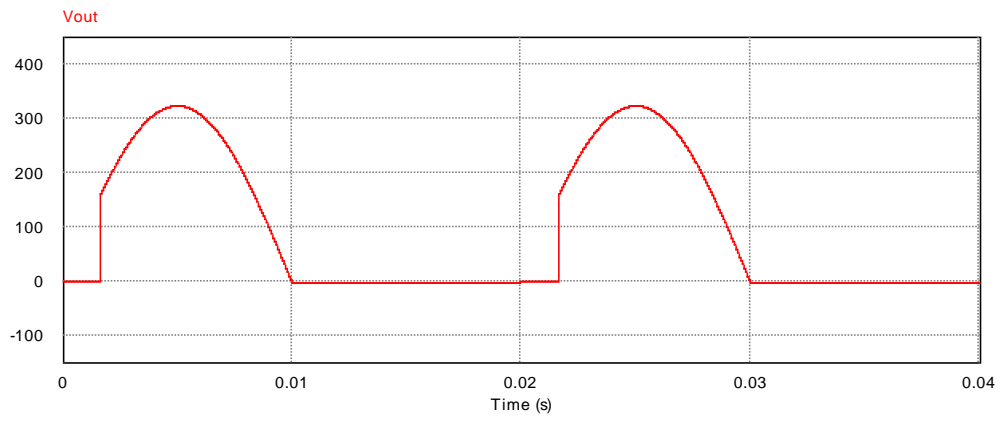


Σχήμα 14:Κύκλωμα απλής ανόρθωσης με thyristor

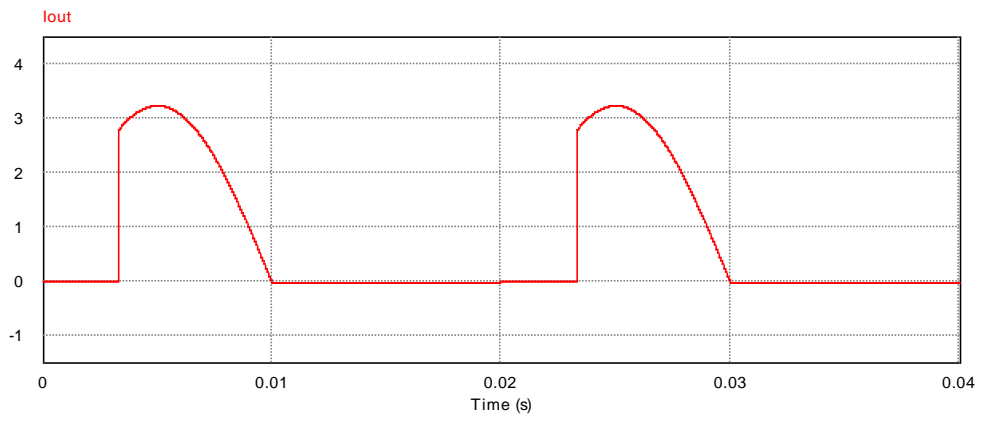
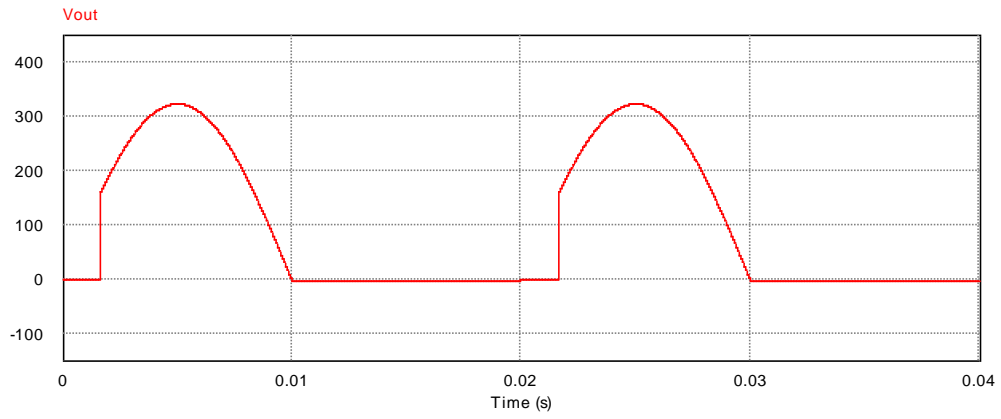
Στο παραπάνω κύκλωμα θεωρώ εναλλασσόμενη τάση 50 Hz, πλάτους 325 V και αντίσταση 100 Ω.



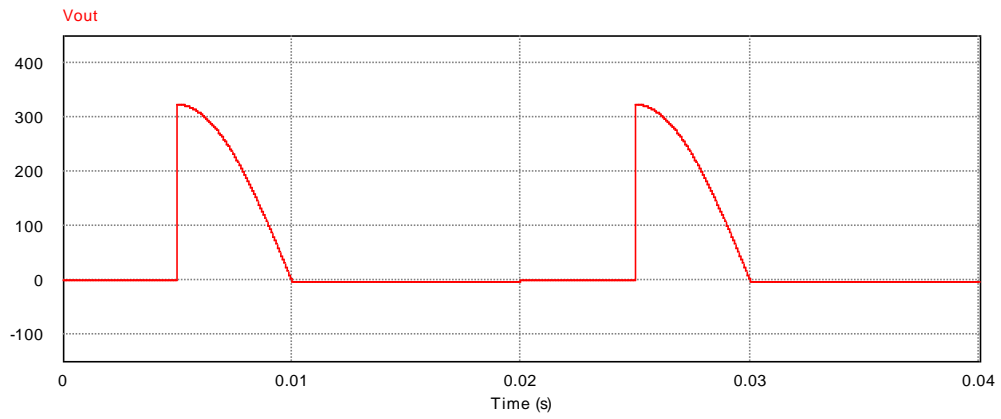
Σχήμα 15:κυματομορφή τάσης εισόδου

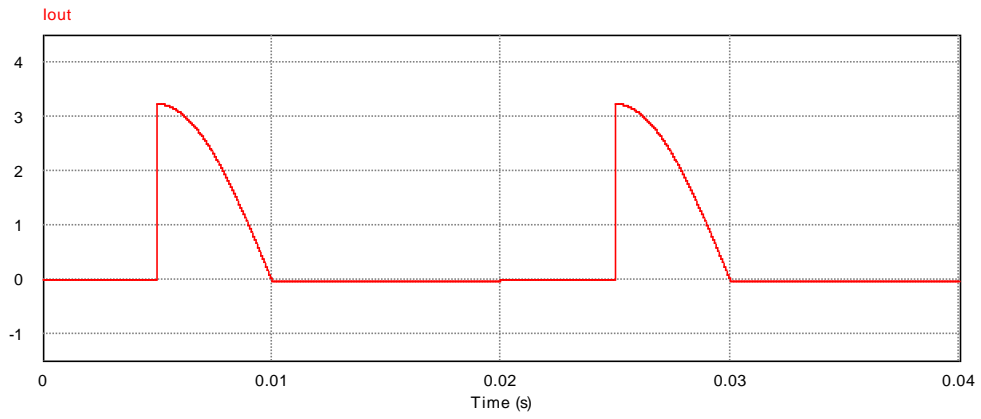


Σχήμα 16: τάση και ρεύμα εξόδου σε γωνία  $30^\circ$

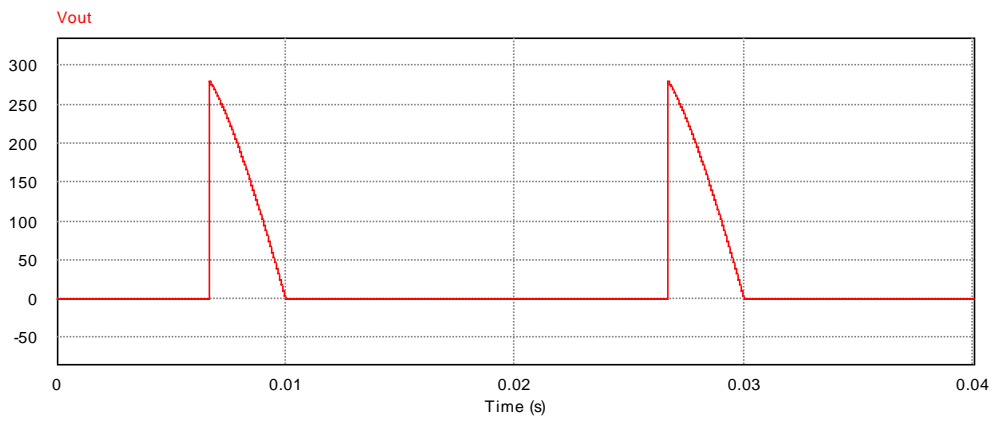
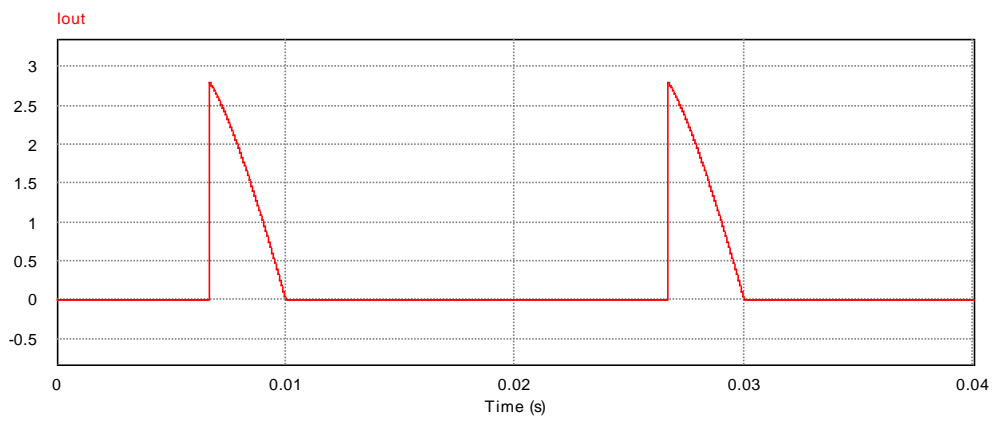


Σχήμα 17: τάση και ρεύμα εξόδου σε  $60^\circ$

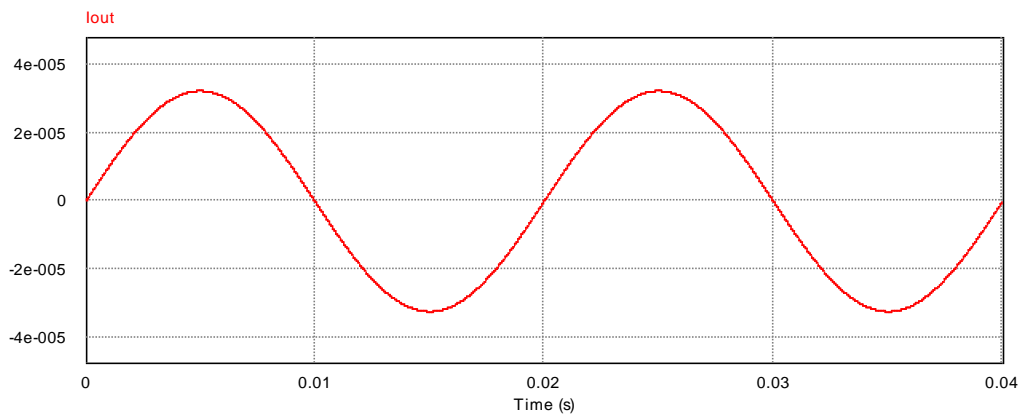
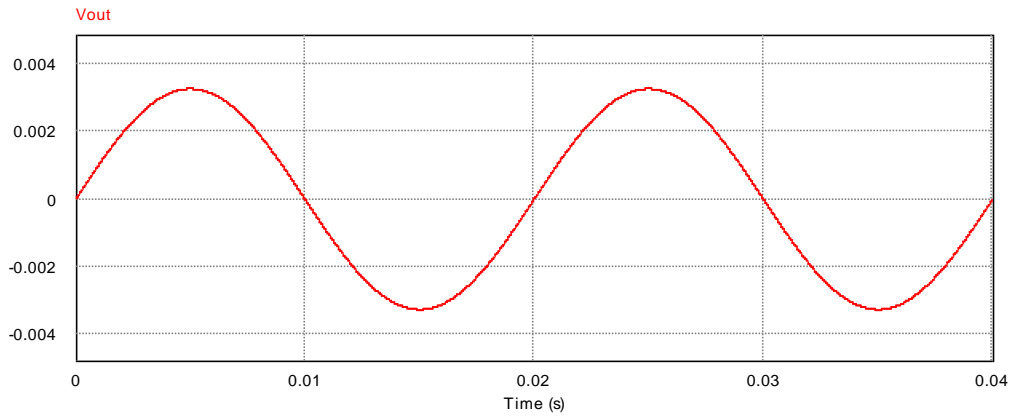




Σχήμα 18: τάση και ρεύμα εξόδου σε  $90^\circ$



Σχήμα 19: τάση και ρεύμα εξόδου σε  $120^\circ$



Σχήμα 20: τάση και ρεύμα εξόδου σε  $180^\circ$

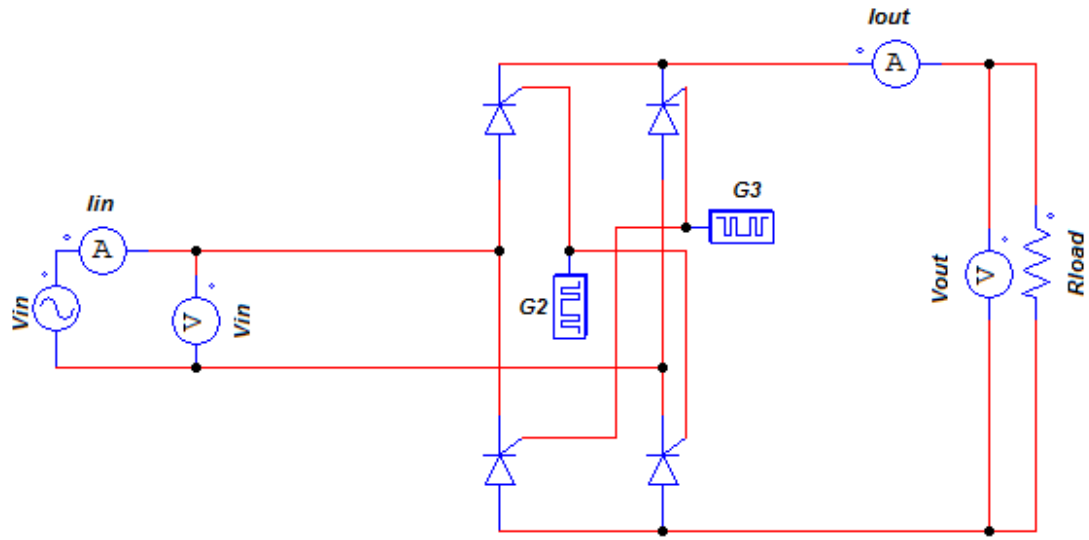
Γωνία Έναυσης ( $\alpha$ )	$V_{in(rms)}$ (V)	$V_{out(rms)}$ (V)	$I_{out(rms)}$ (A)	$I_{out(avg)}$ (A)	PF	S (VA)
$30^\circ$	230	160,15	31,6	0,965	1	256,47
$60^\circ$	230	145	1,45	0,775	1	212,37
$90^\circ$	230	114	1,14	0,516	1	131,76
$120^\circ$	230	72	0,718	0,258	1	51,7
$180^\circ$	230	0,00229	$2,29 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-12}$	1	$5,28 \cdot 10^{-8}$

Πίνακας 2: Πίνακας τιμών

Στην απλή ανόρθωση παρατηρούμε την απότομη αποκοπή του ρεύματος και της τάσης στις τέσσερις πρώτες γωνίες έναυσης και στην τελευταία γωνία βλέπουμε και τις δύο περιόδους.

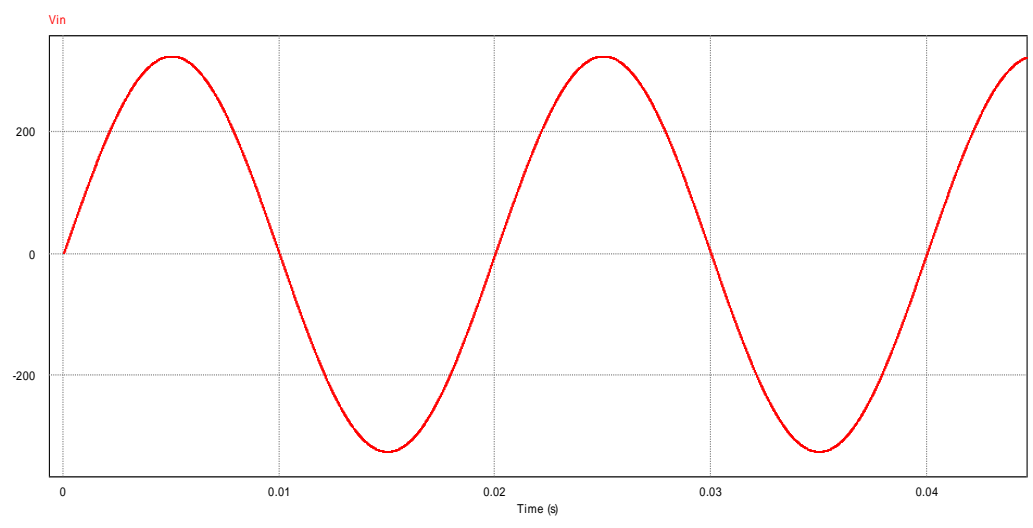
### 2.2.2: Διπλή Ανόρθωση με Γέφυρα Θυρίστορ

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα διπλής ανόρθωσης με γέφυρα θυρίστορ

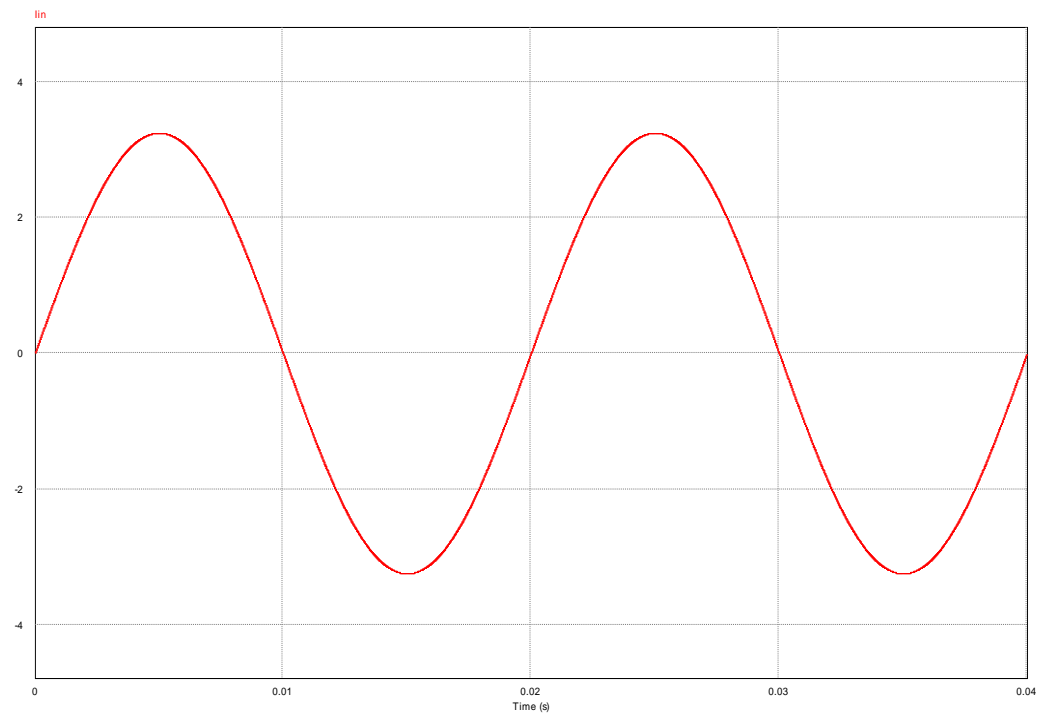
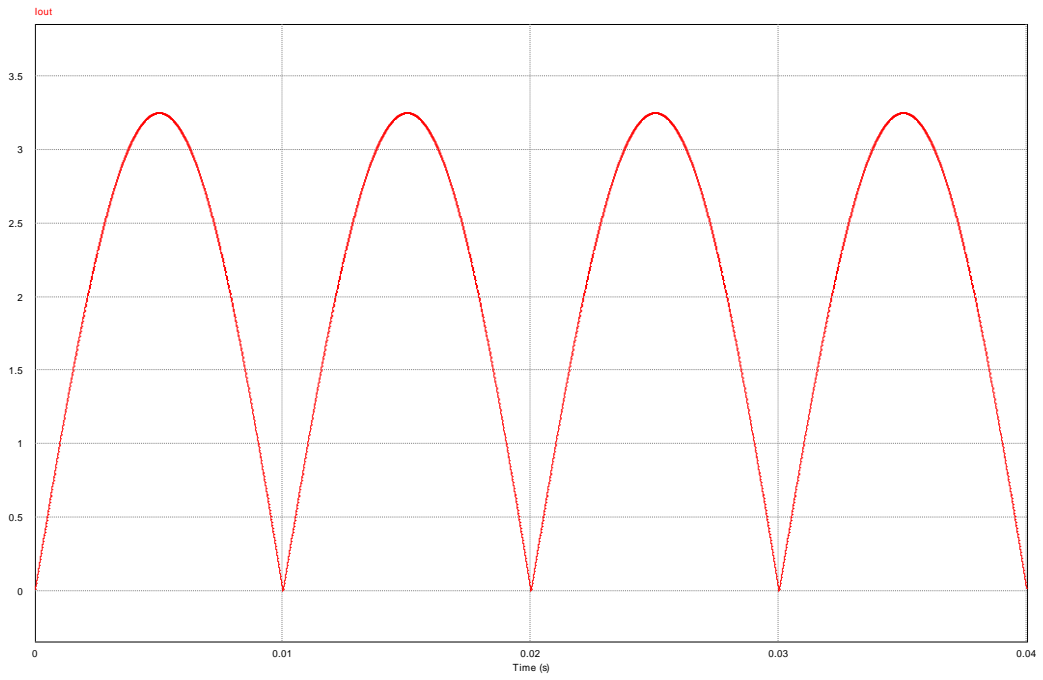


Σχήμα 21: Διπλή ανόρθωση με γέφυρα θυρίστορ

Στο παραπάνω κύκλωμα θεωρώ εναλλασσόμενη τάση 50 Hz, πλάτους 325V και αντίσταση 100Ω.

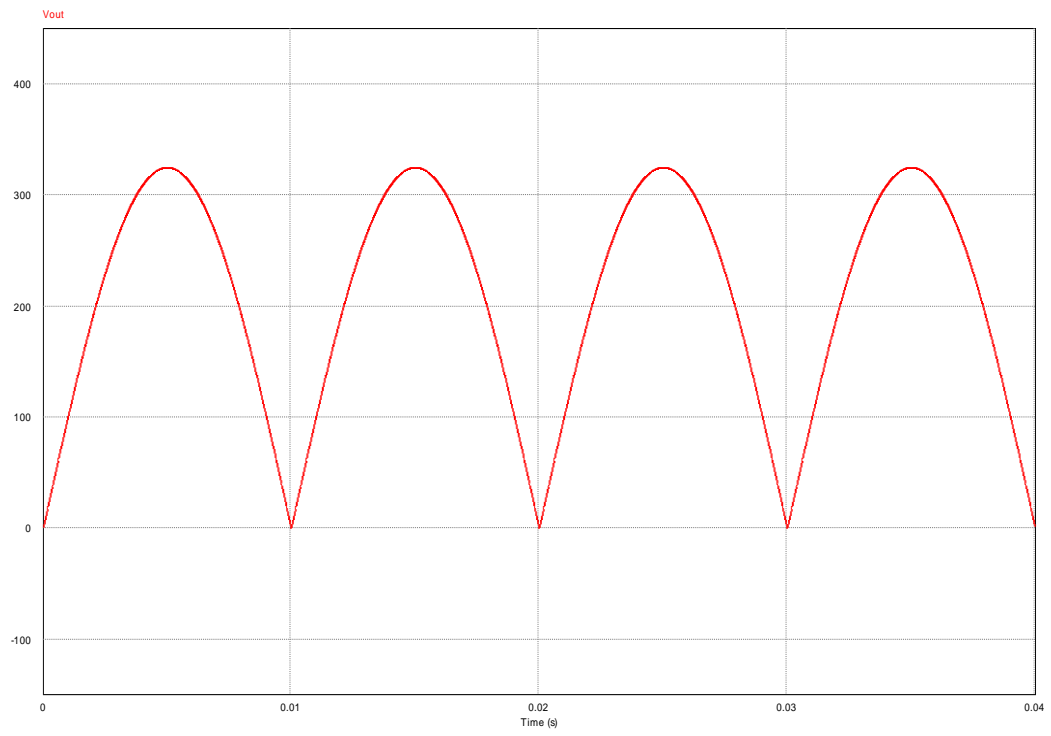


Σχήμα 22: Τάση εισόδου

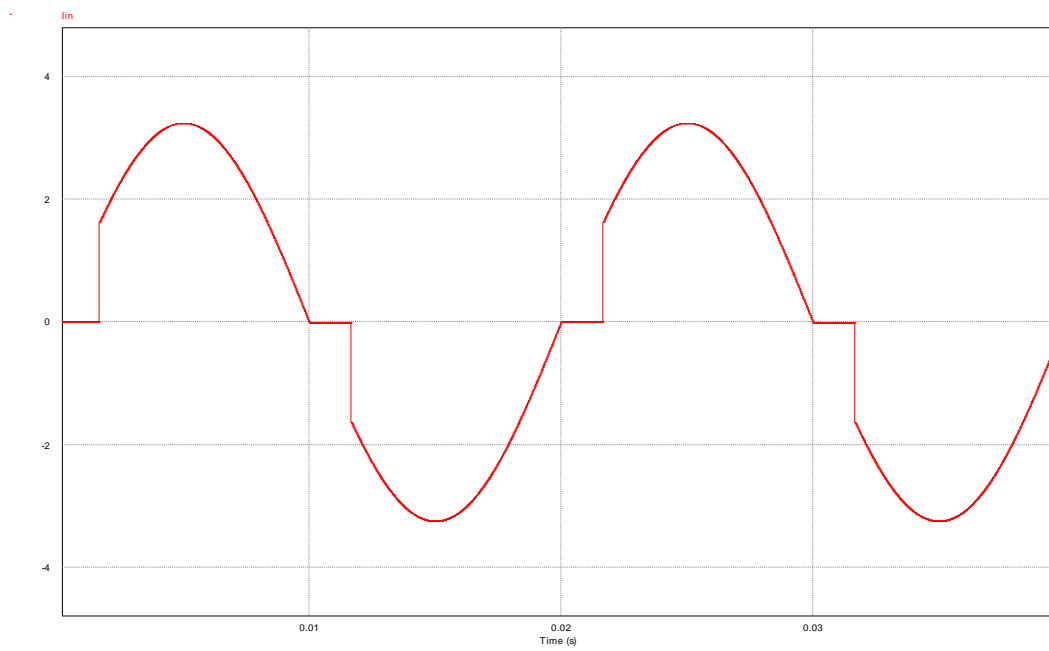
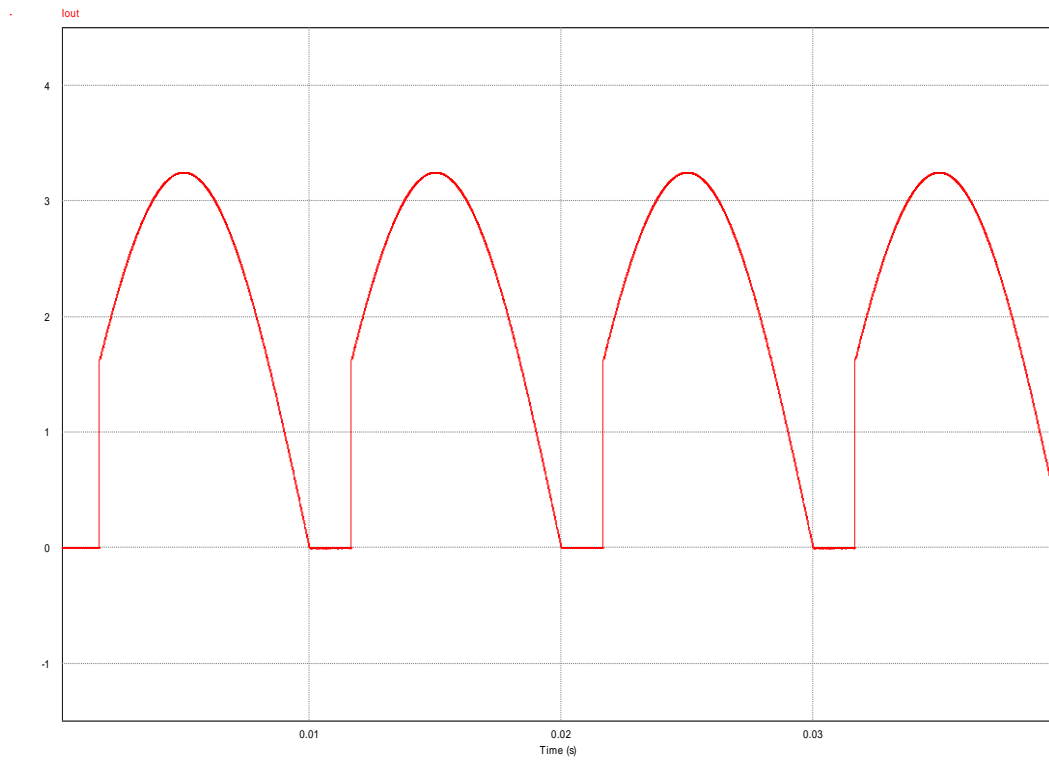


Σχήμα 23: Ρεύμα εισόδου και εξόδου στις  $\theta^\circ$

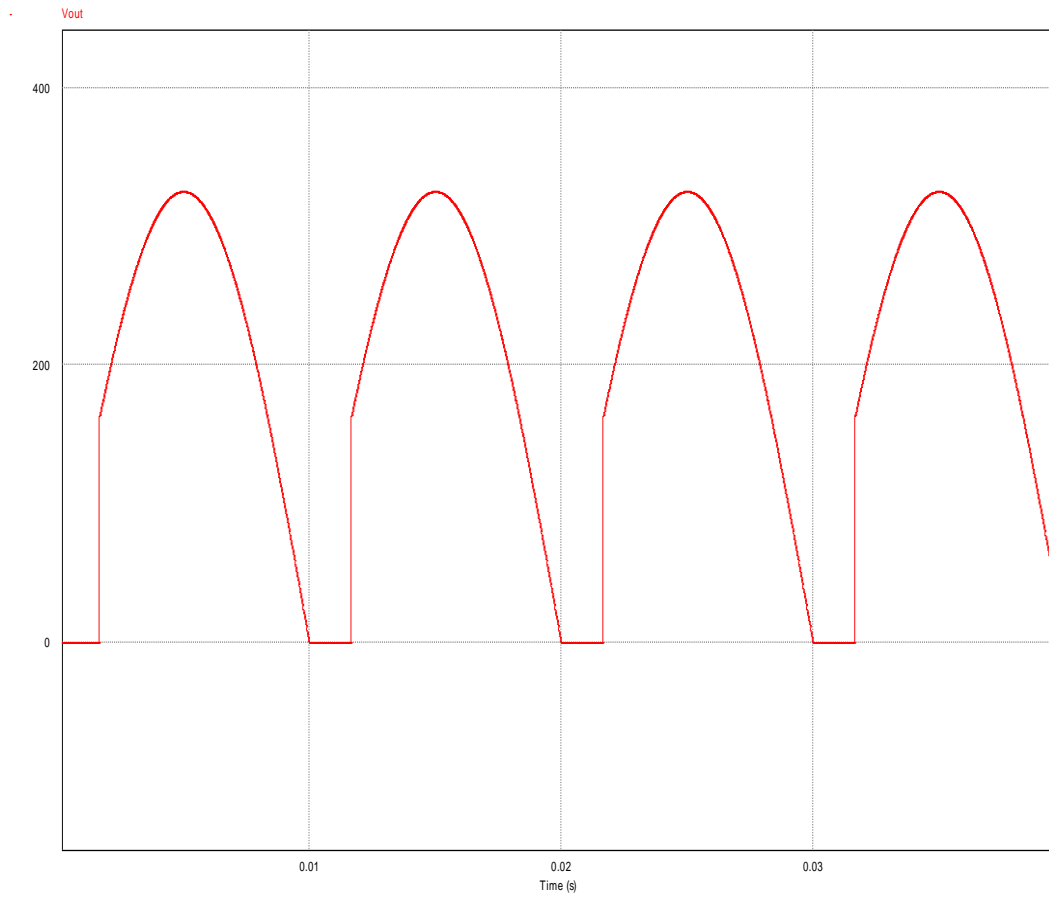




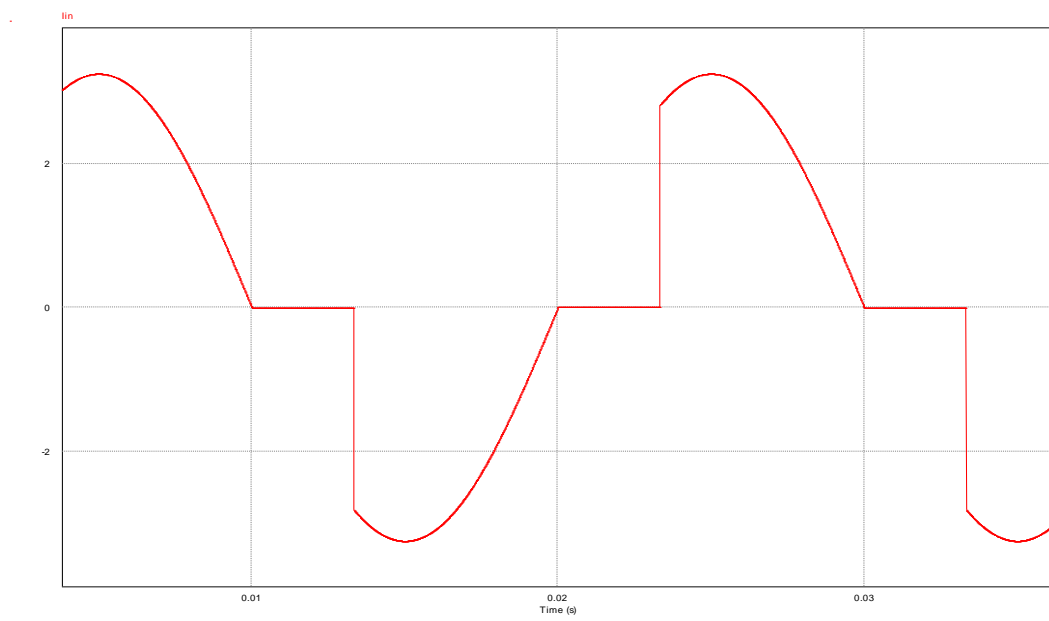
*Σχήμα 24: Τάση εξόδου στις 0°*

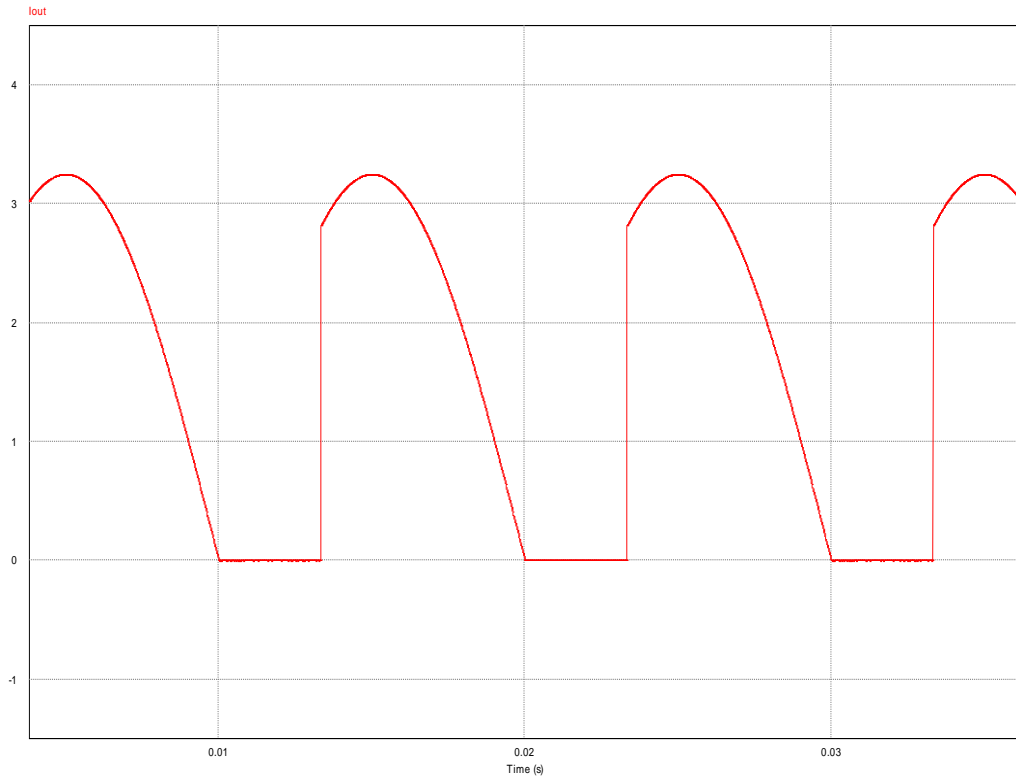


Σχήμα25: Ρεύμα εισόδου και εξόδου στις  $30^\circ$

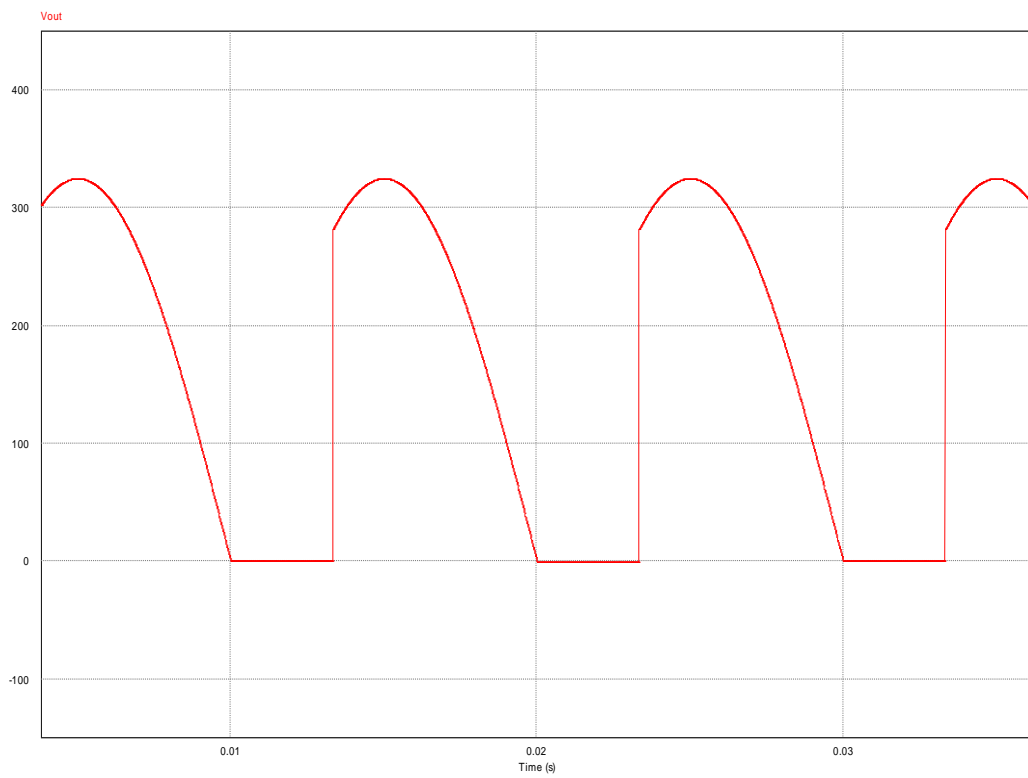


Σχήμα 26: Τάση εξόδου στις  $30^\circ$

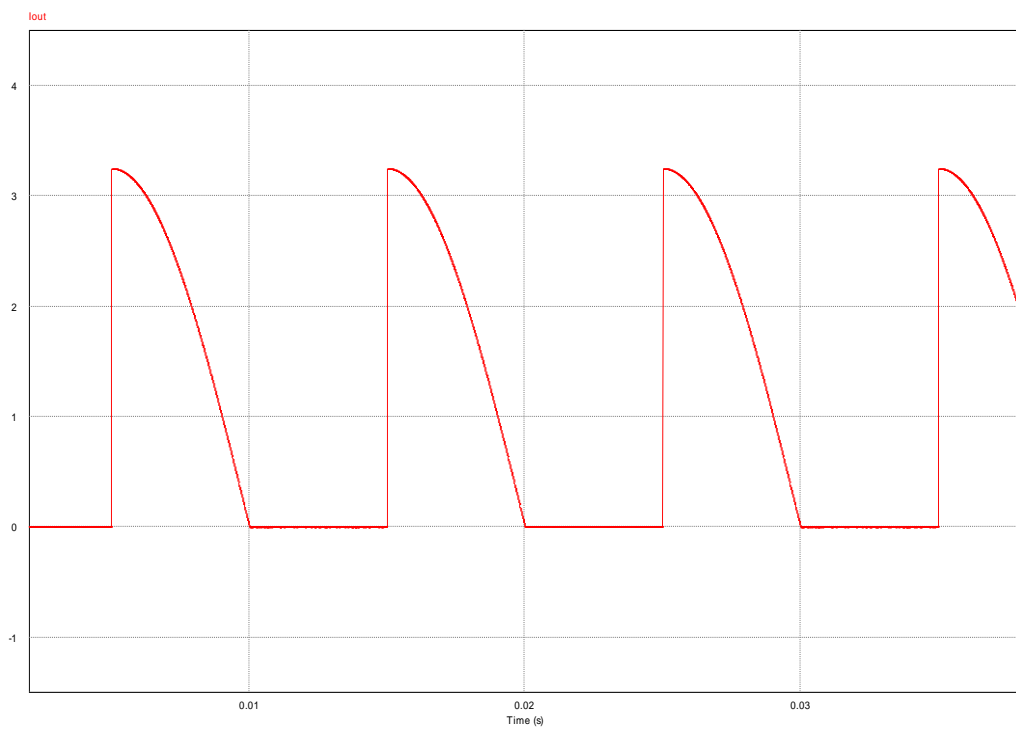
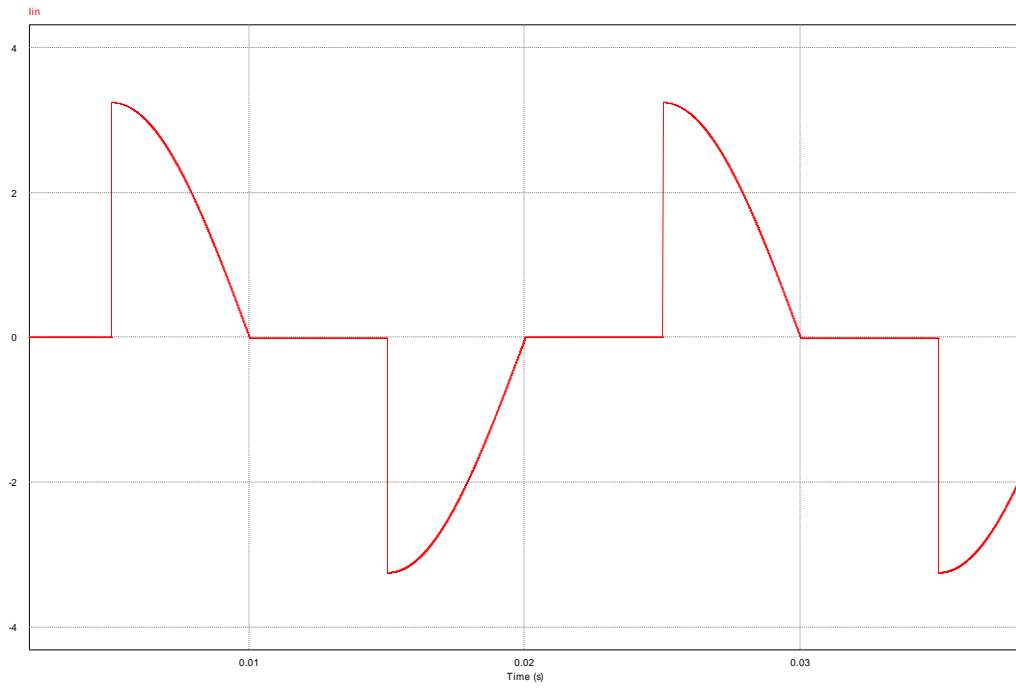




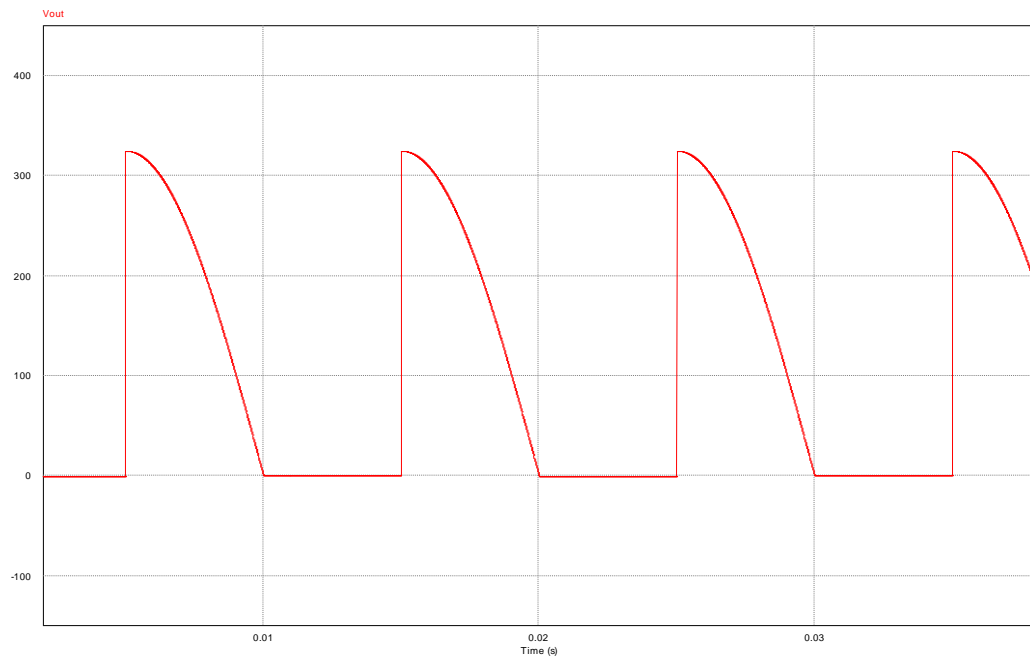
Σχήμα 27: Ρεύμα εισόδου και εξόδου στις  $60^\circ$



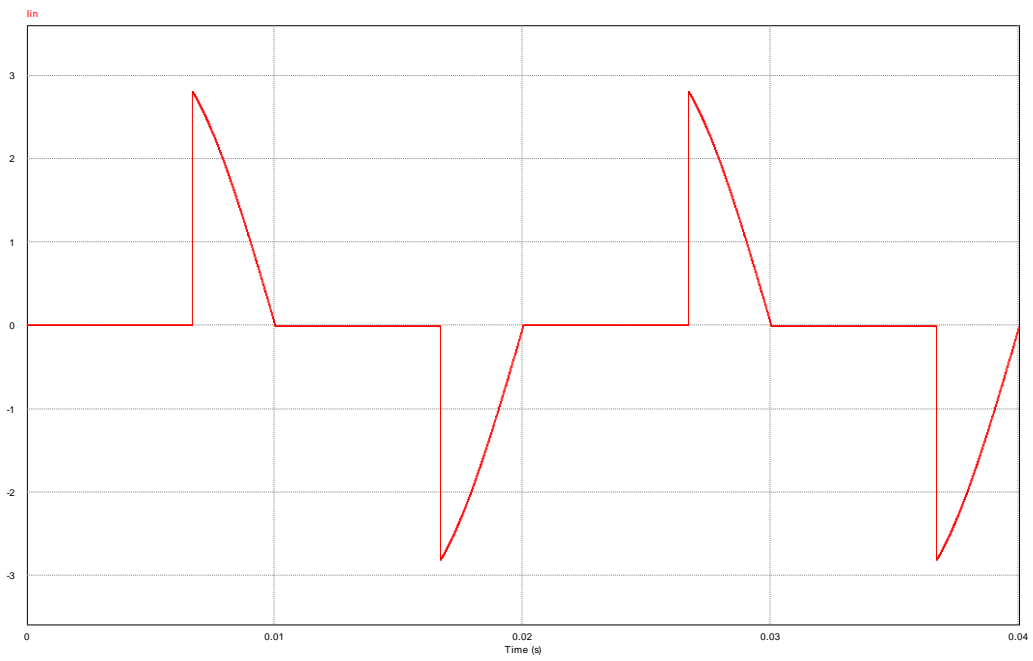
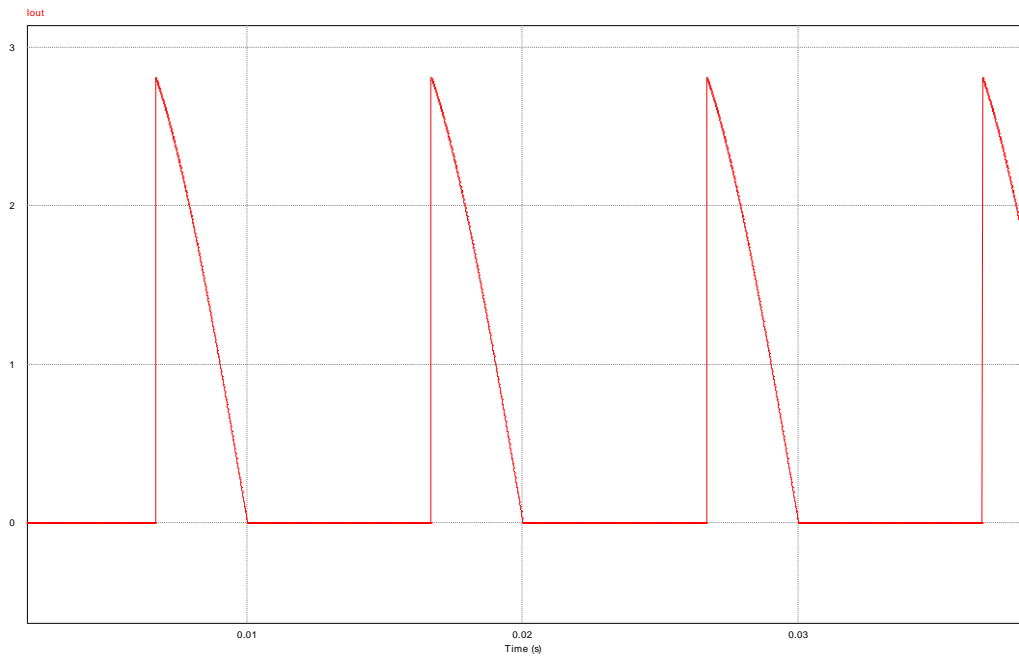
Σχήμα 28: Τάση εξόδου στις  $60^\circ$



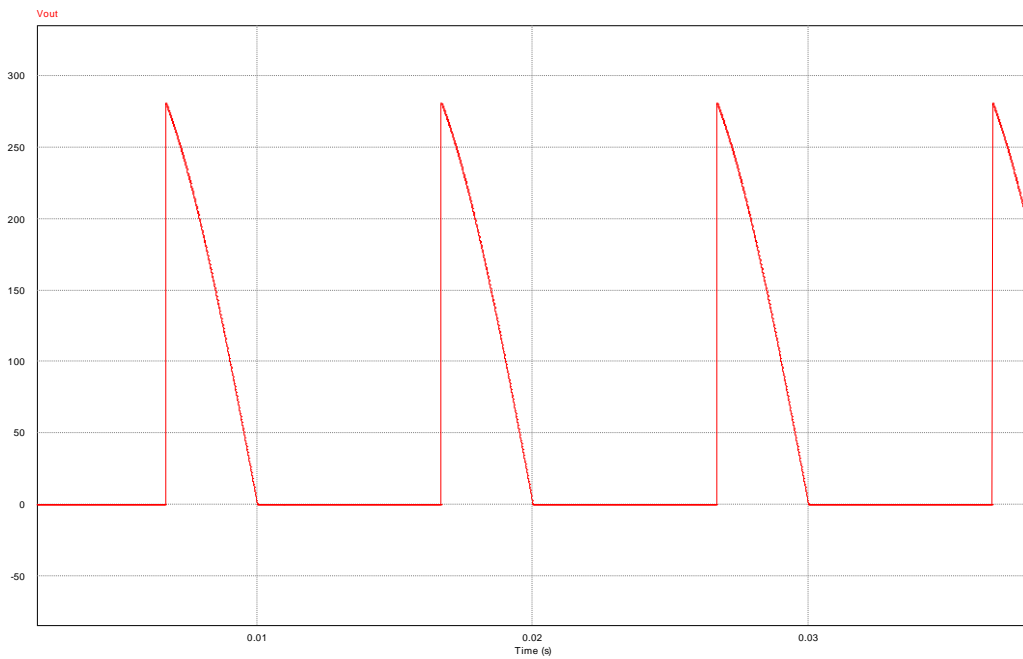
Σχήμα 29: Ρεύμα εισόδου και εξόδου στις 90°



Σχήμα 30: Τάση εξόδου στις  $90^\circ$



Σχήμα 31: Ρεύμα εισόδου και εξόδου στις  $120^\circ$



Σχήμα 32: Τάση εξόδου στις  $120^\circ$

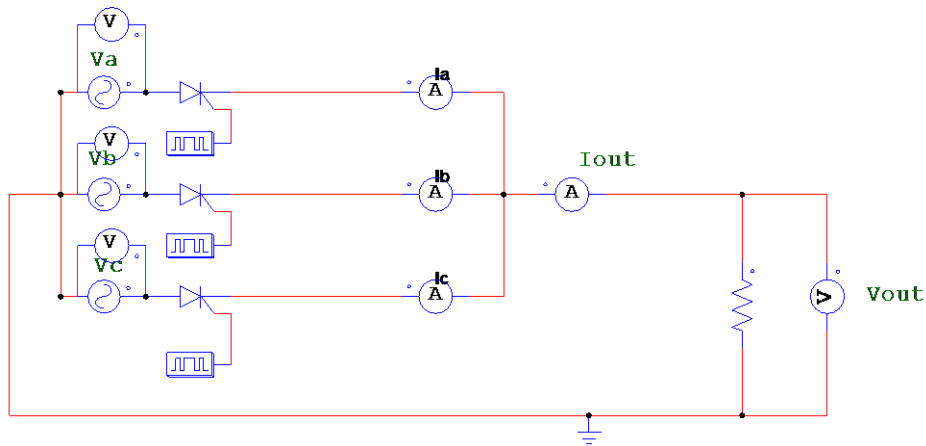
Γωνία Έναυσης ( $\alpha$ )	$V_{in(rms)}$ (V)	$V_{out(rms)}$ (V)	$I_{out(rms)}$ (A)	$I_{out(avg)}$ (A)	PF	S (VA)
$0^\circ$	230	229	2.29	2.06	1	528
$30^\circ$	230	227	2.26	1.93	1	512
$60^\circ$	230	206	2.06	1.93	1	424.7
$90^\circ$	230	162	1.62	1.03	1	263.5
$120^\circ$	230	101	1.01	0.52	1	103.3

Πίνακας 3: Πίνακας τιμών



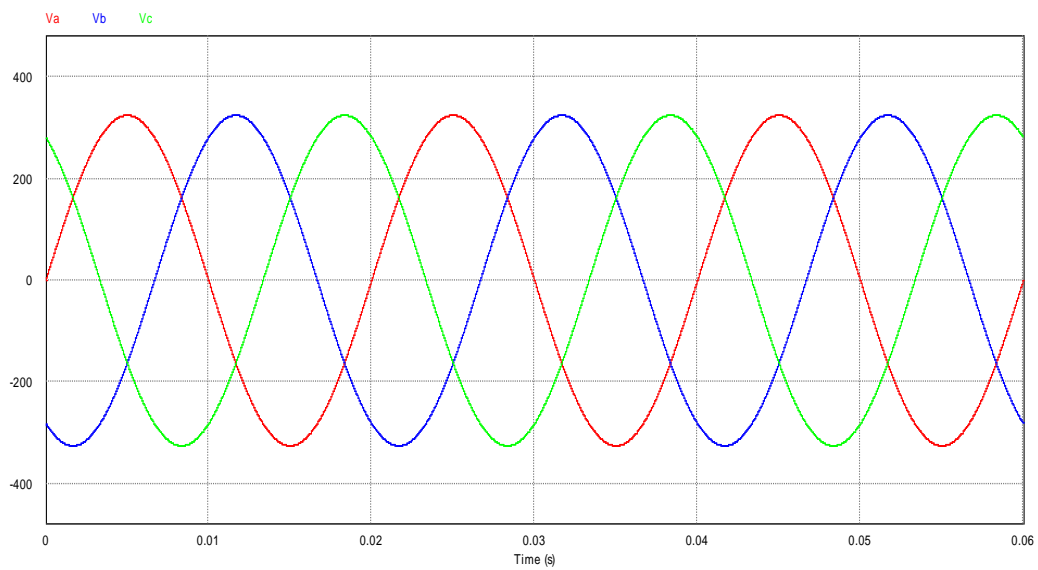
### 2.2.3: Τριφασική Ανόρθωση Θυρίστορ

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα τριφασικής ανόρθωσης με θυρίστορ

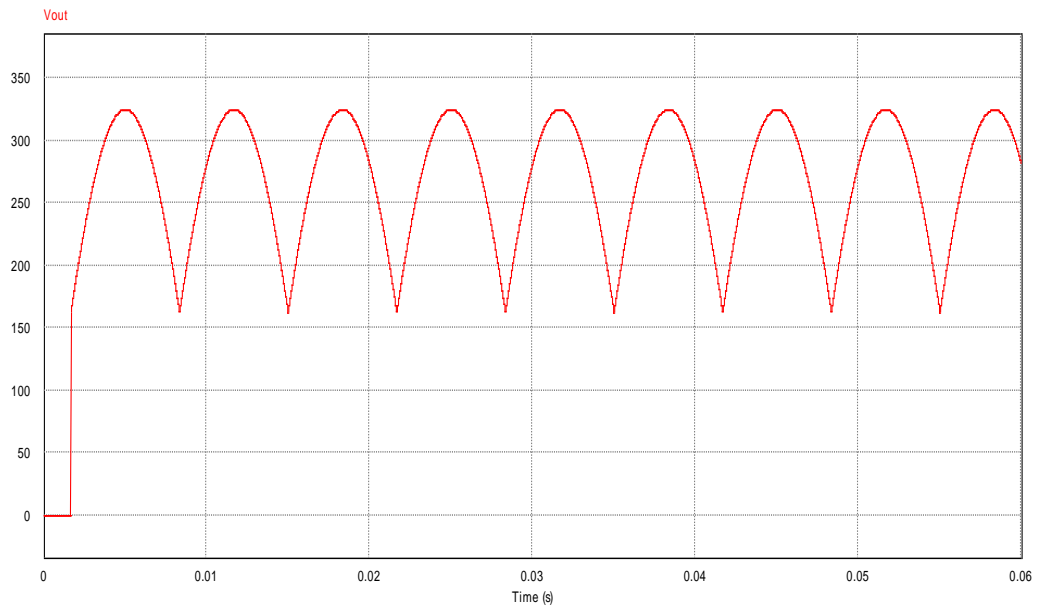


Σχήμα 33: Κύκλωμα τριφασικής ανόρθωσης με θυρίστορ

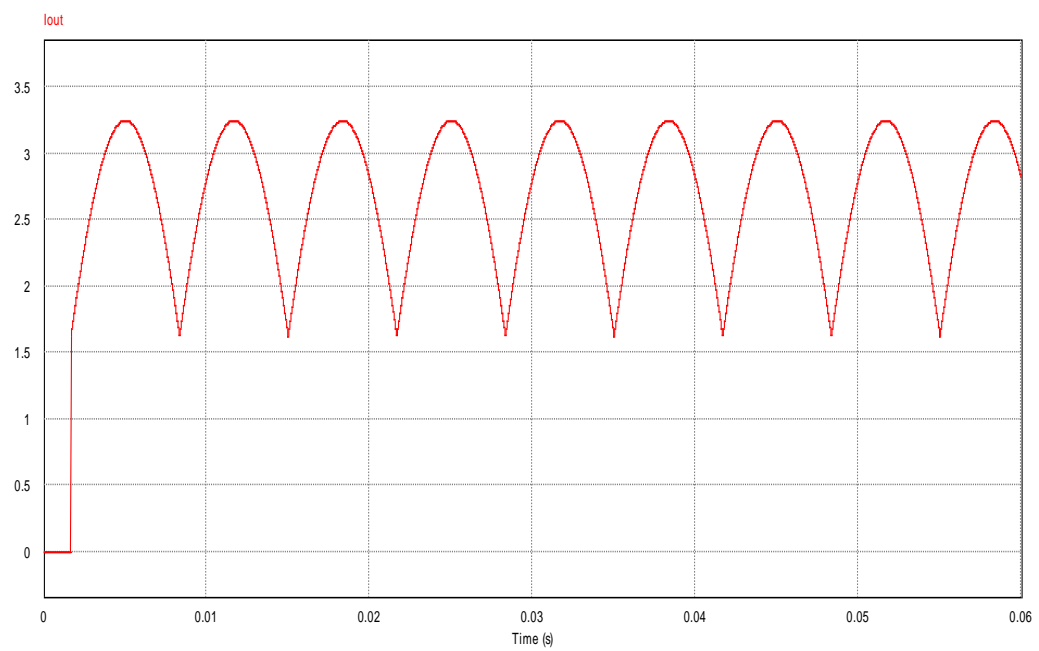
Στο παραπάνω κύκλωμα θεωρώ τριφασική εναλλασσόμενη τάση 50Hz, πλάτους 325 V και αντίστασης 100Ω.



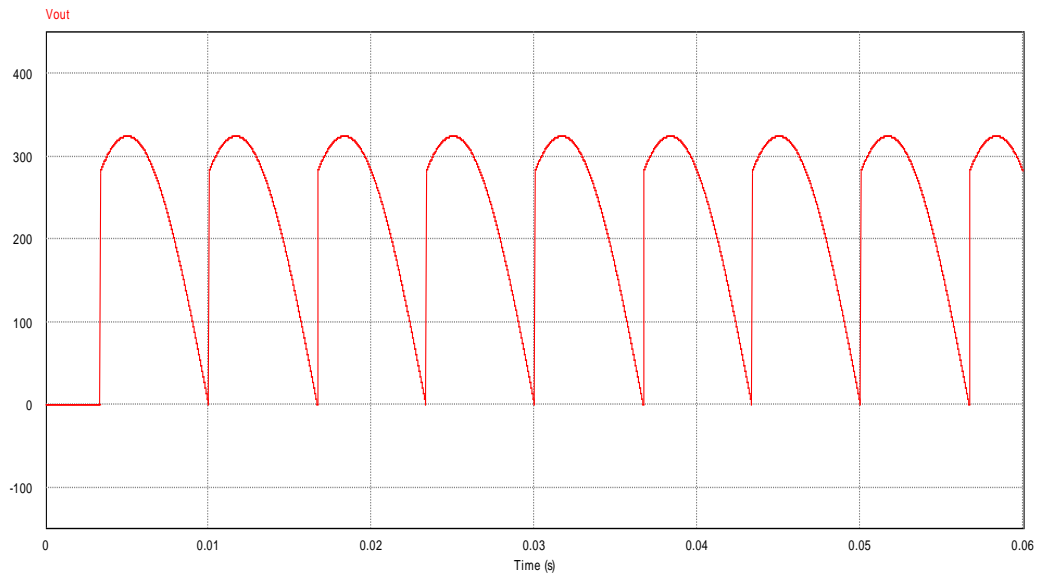
Σχήμα 34: Τριφασική τάση εισόδου



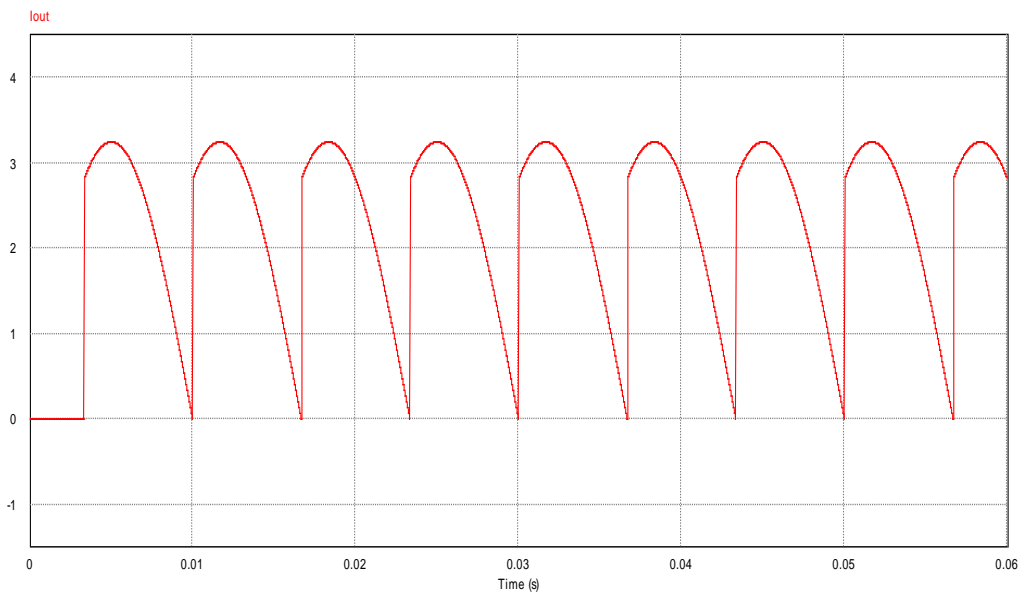
Σχήμα 35: Τάση εξόδου στις  $30^\circ$



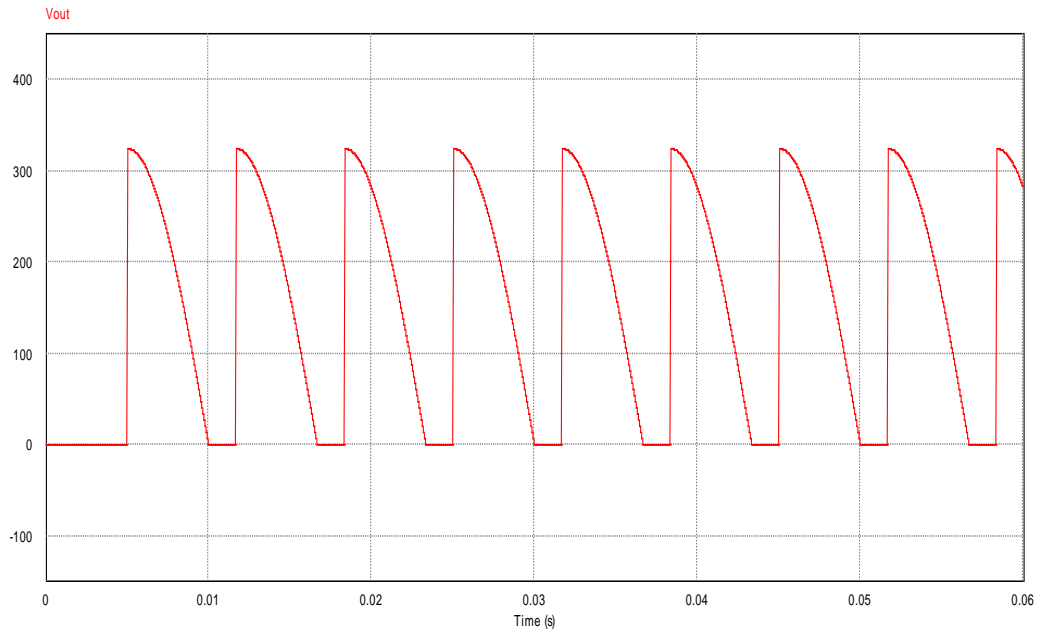
Σχήμα 36: Ρεύμα εξόδου στις  $30^\circ$



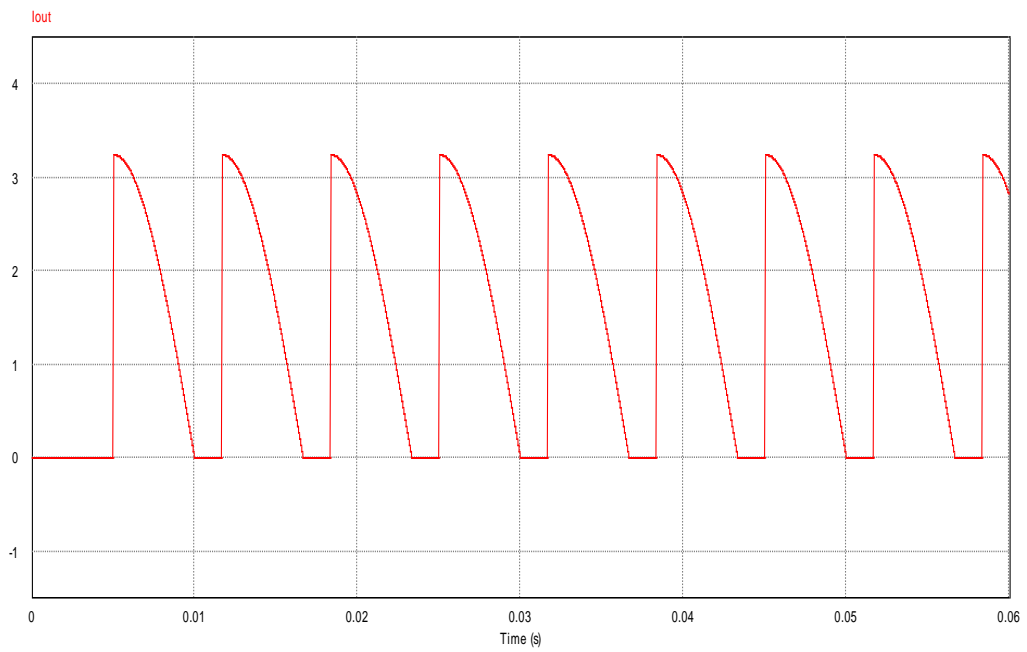
Σχήμα 37: Τάση εξόδου στις  $60^\circ$



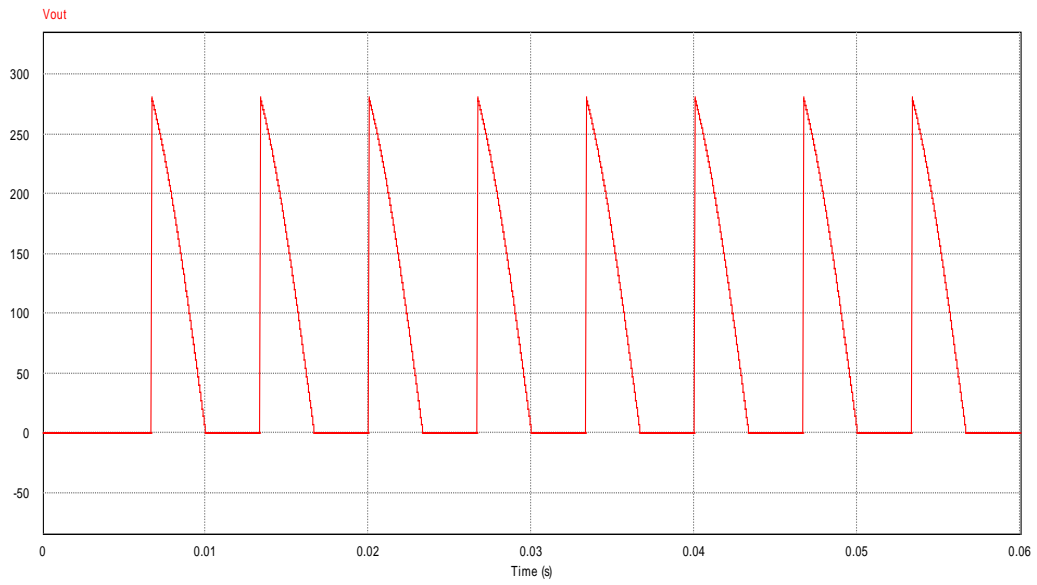
Σχήμα 38: Ρεύμα εξόδου στις  $60^\circ$



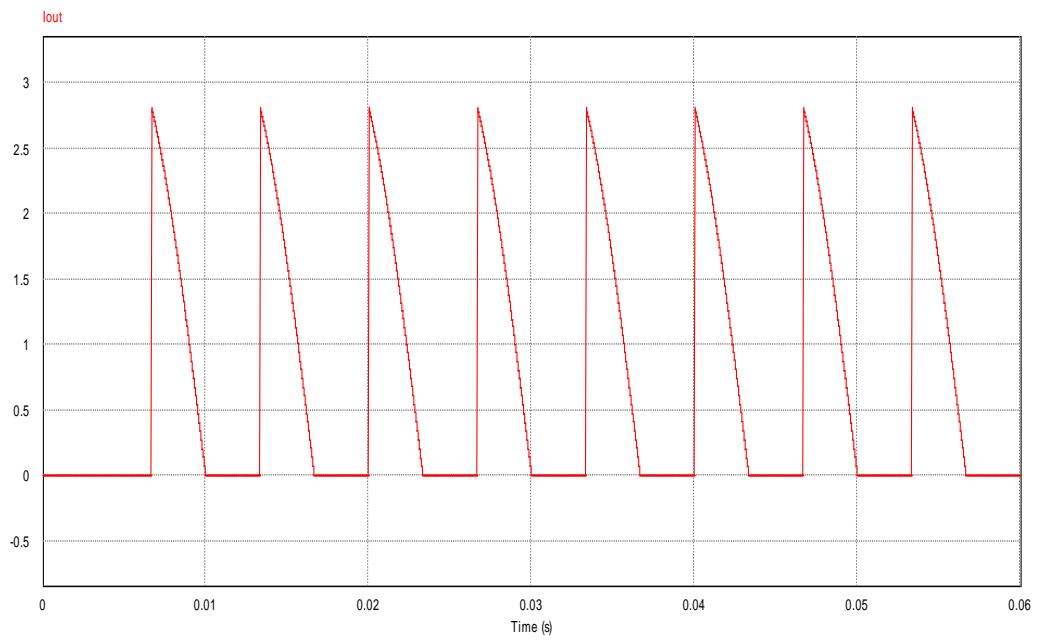
Σχήμα 39: Τάση εξόδου στις  $90^\circ$



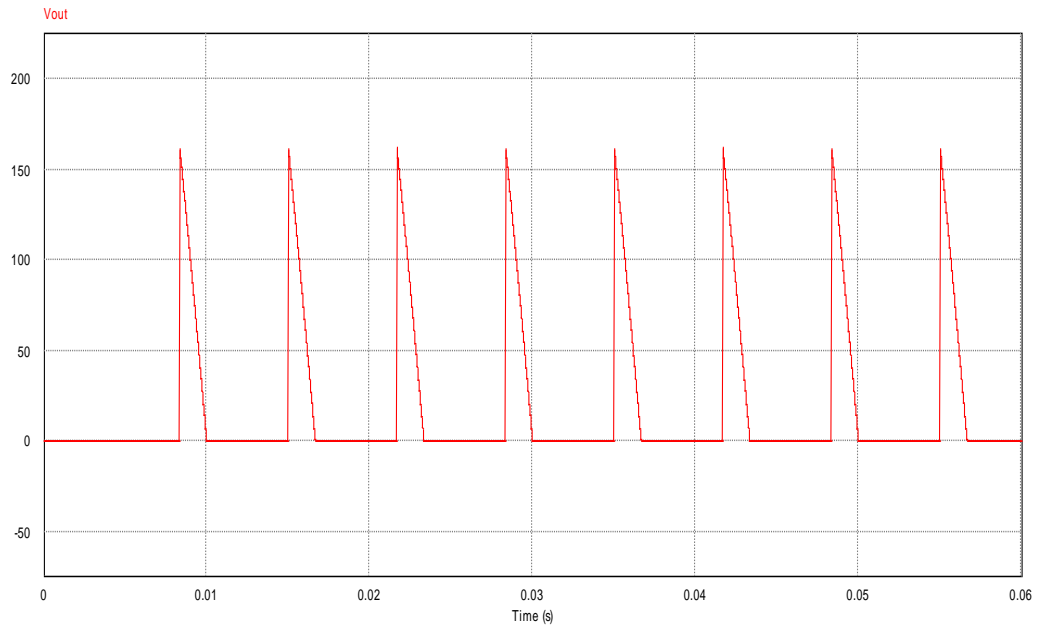
Σχήμα 40: Ρεύμα εξόδου στις  $90^\circ$



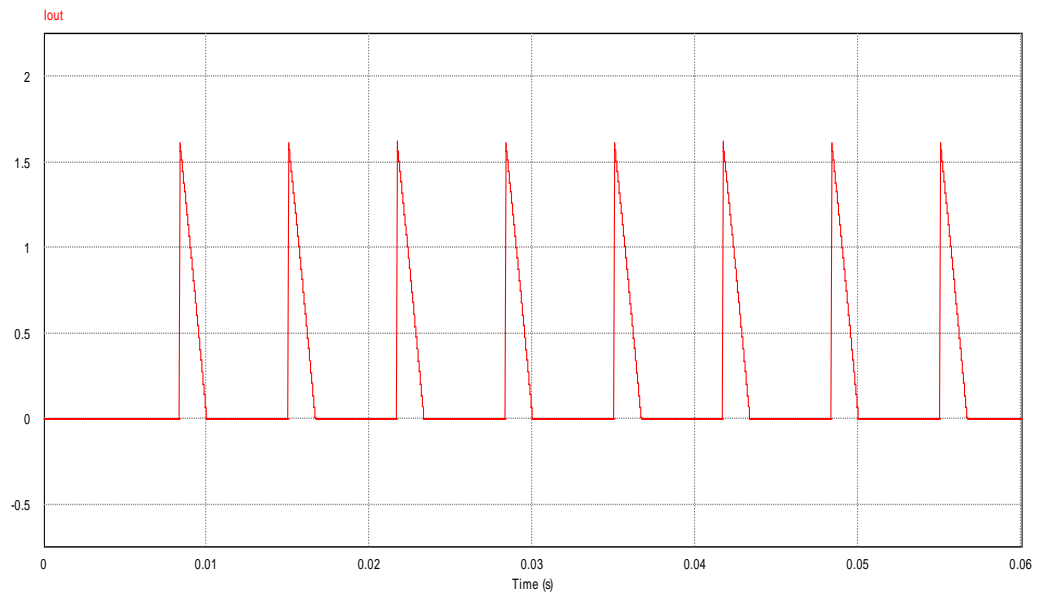
*Σχήμα 41: Τάση εξόδου στις  $120^\circ$*



*Σχήμα 42: Ρεύμα εξόδου στις  $120^\circ$*



Σχήμα 43: Τάση εισόδου στις 150°



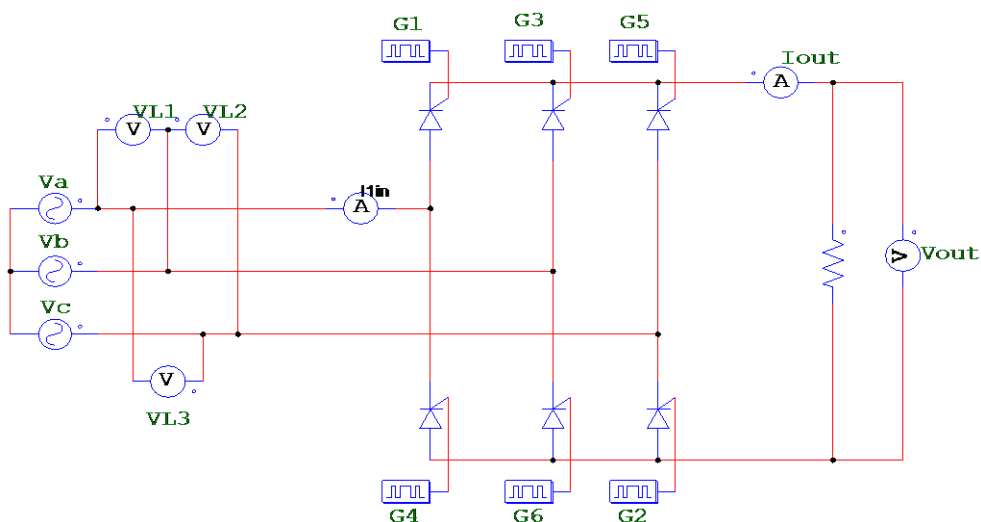
Σχήμα 44: Ρεύμα εξόδου στις 150°

$\alpha^\circ$	$I_{in_{rms}}$ (A)	$V_{out_{avg}}$ (V)	$I_{out_{rms}}$ (A)	$I_{out_{avg}}$ (A)	S (VA)	PF
30°	1,57	270,5	2,7	2,62	731,9	1
60°	1,45	249	2,49	2,24	619,5	1
90°	1,14	194,6	1,94	1,46	378,6	1
120°	0,72	117,27	1,17	0,69	137,5	1
150°	0,275	45	0,45	0,184	20,2	1

Πίνακας 4: Πίνακας τιμών

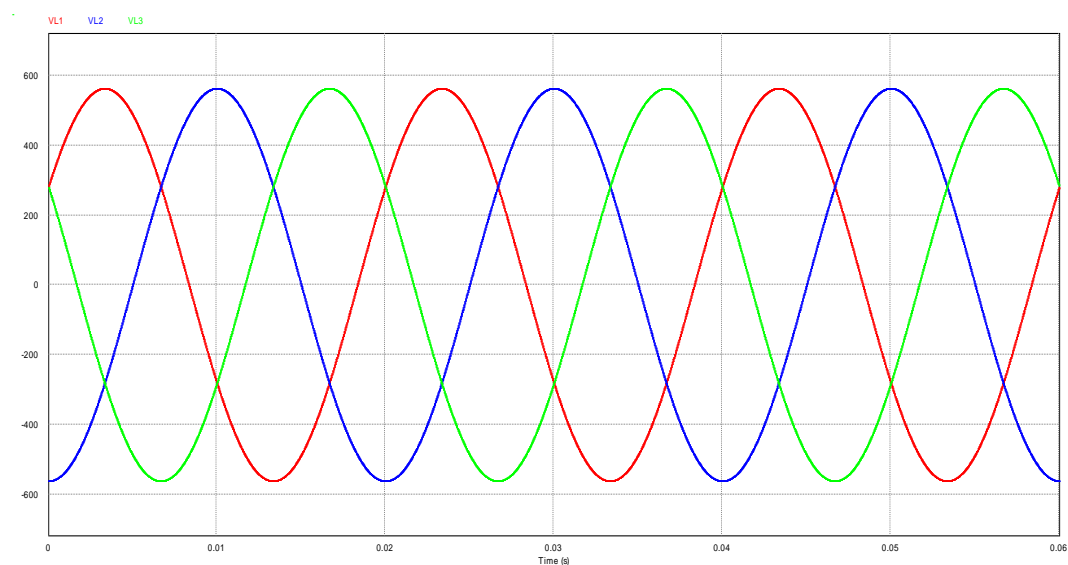
### 2.2.4: Τριφασικός ανορθωτής γέφυρας 6 παλμών

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα του τριφασικού ανορθωτή με γέφυρα 6 παλμών.

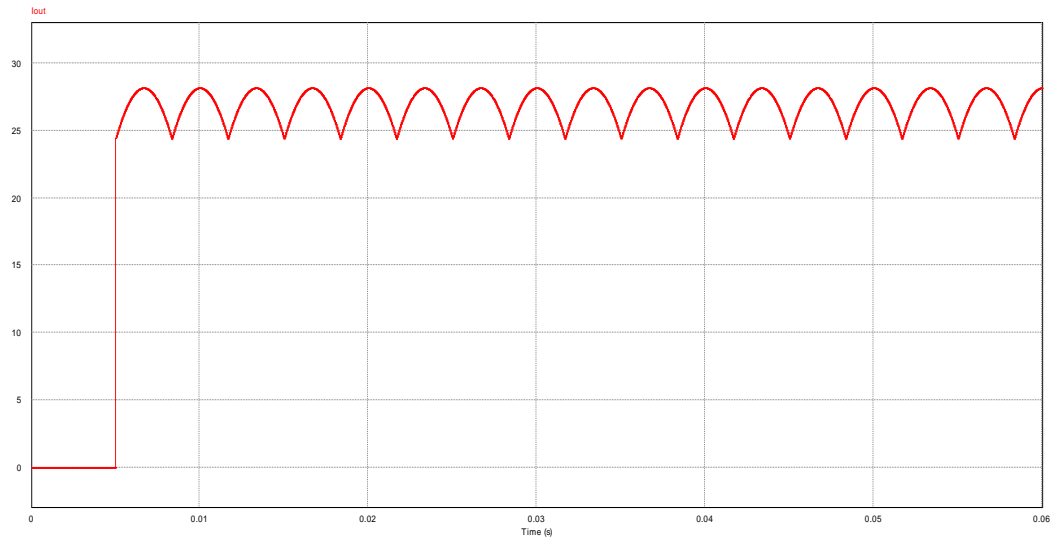


Σχήμα 45: Τριφασικός ανορθωτής γέφυρας 6 παλμών

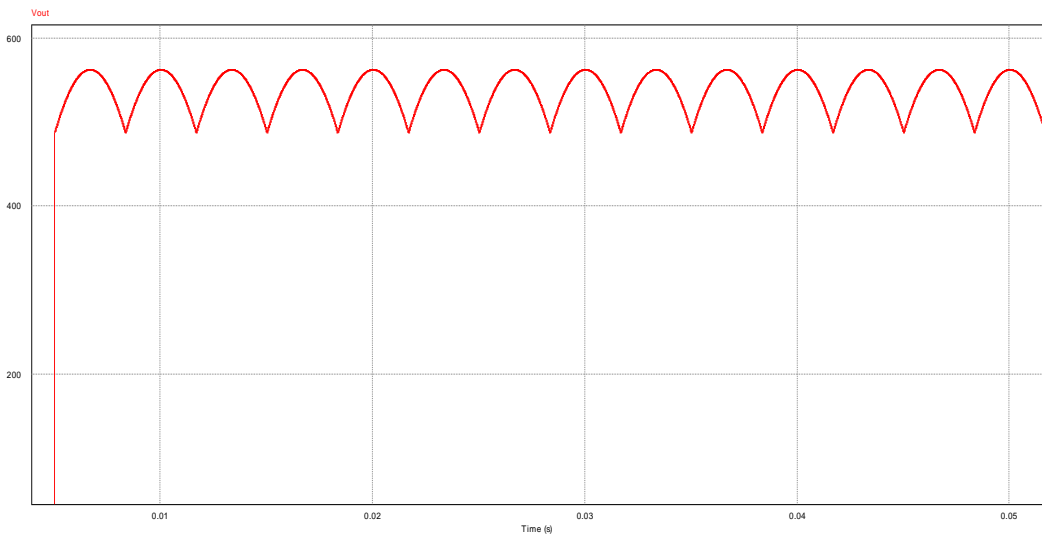
Στο παραπάνω κύκλωμα έχουμε εναλλασόμενη τριφασική τάση 325V, πλάτους 50 Hz και αντίσταση 100Ω.



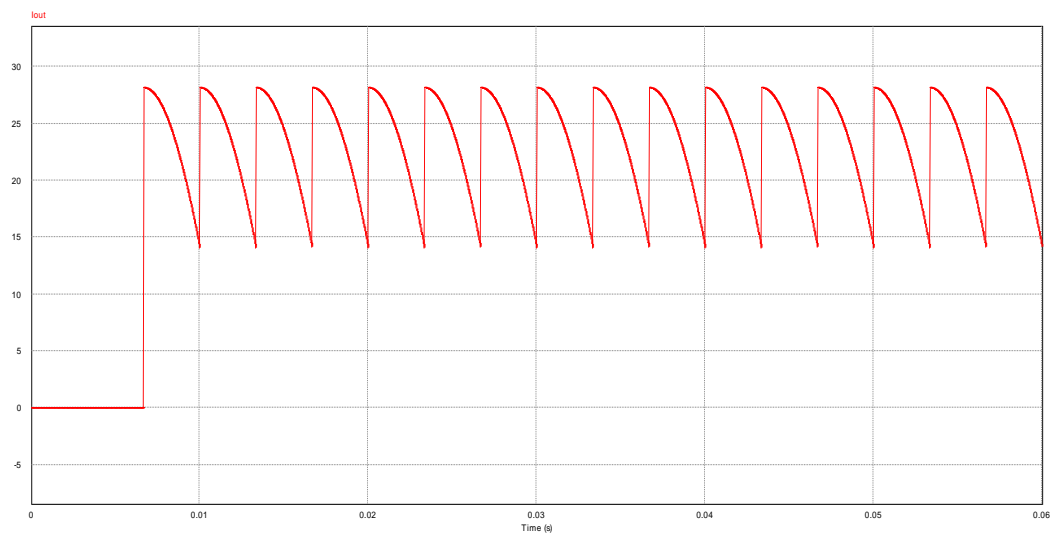
Σχήμα 46: Τριφασική τάση εισόδου



Σχήμα 47: Ρεύμα εξόδου στις  $30^\circ$

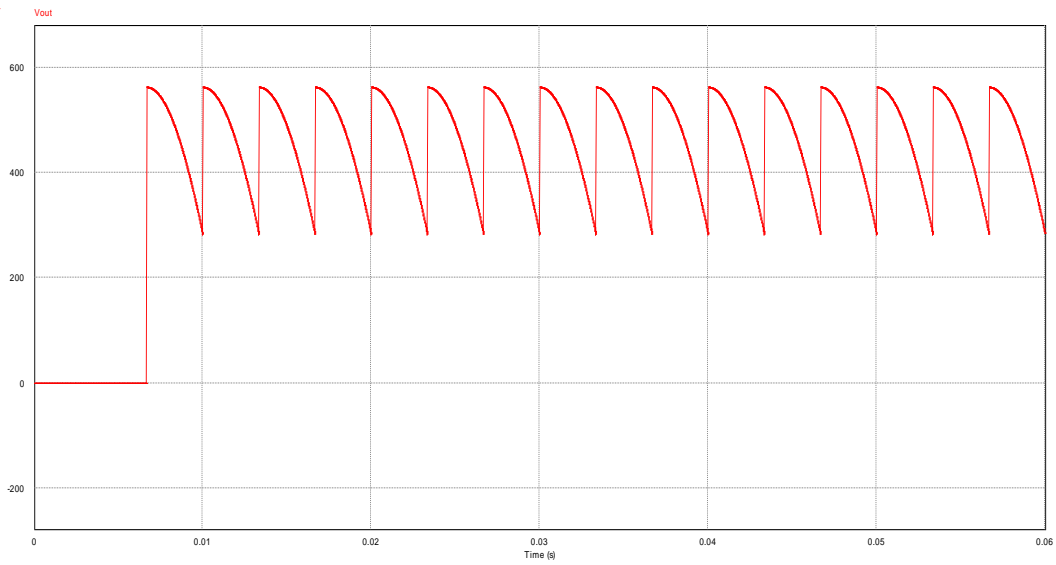


Σχήμα 48: Τάση εξόδου στις  $30^\circ$



Σχήμα 49: Ρεύμα εξόδου στις  $60^\circ$

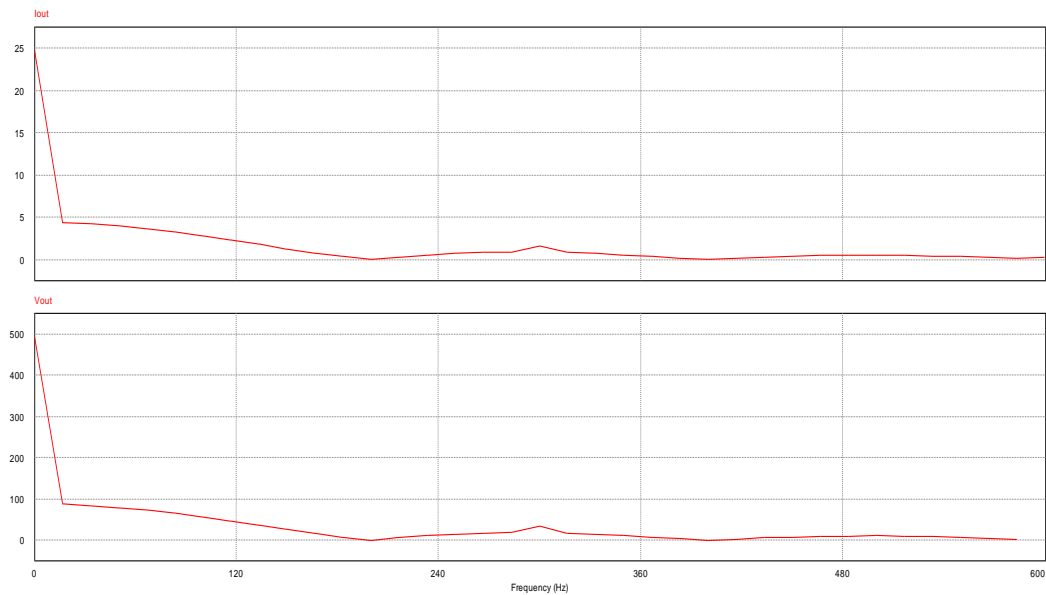




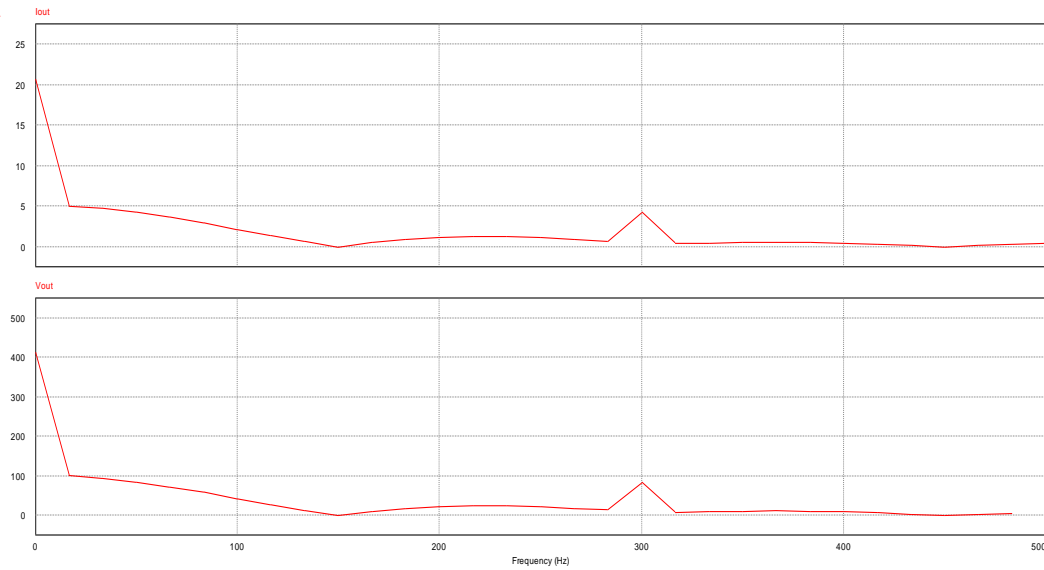
Σχήμα 50: Τάση εξόδου στις  $60^\circ$

Γωνία Έναυσης ( $\alpha$ )	$I_{in}(rms)$ A	$V_{out}(rms)$ V	$V_{out}(avg)$ V	$I_{out}(rms)$ A	$I_{out}(avg)$ A
$30^\circ$	1.75	175	89.3	1.75	0.893
$60^\circ$	18,4	446	413	22,3	20,6

Πίνακας 5: Πίνακας τιμών



Σχήμα 51: Διάγραμμα αρμονικών στις  $30^\circ$



Σχήμα 52: Διάγραμμα αρμονικών στις  $60^\circ$

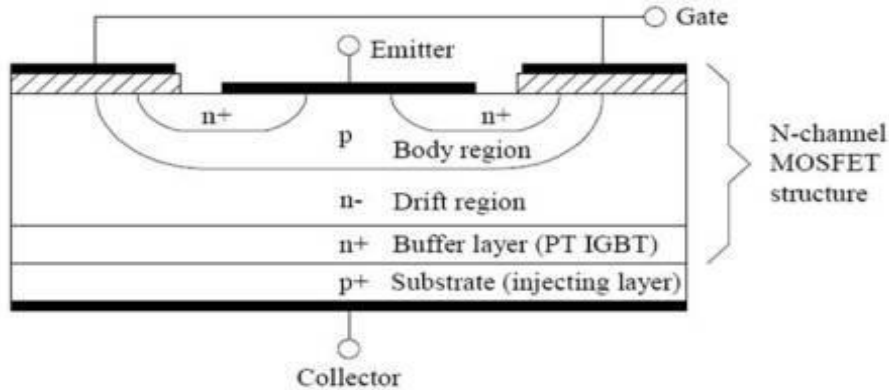
Συχνότητα (Hz)	$I_{out}$ (A)	$V_{out}$ (V)	Συχνότητα (Hz)	$I_{out}$ (A)	$V_{out}$ (V)
0	24,3	492	0	201	413
100	2,85	57	100	2,17	43,45
200	0,0657	1,31	200	1,17	23,55
300	4,26	53.4	300	4,26	85,29
400	1,7	34,1	400	0,47	9,52
500	0,58	11,78	500	0,41	8,36

Πίνακας7: Τιμές αρμονικών στις  $30^\circ$  και στις  $60^\circ$

## Κεφάλαιο 3:IGBT

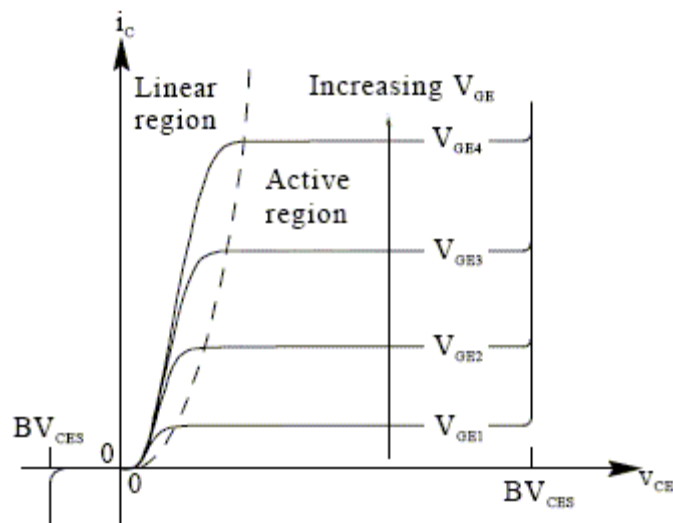
### 3.1:Γενικά

Διπολικό transistor με μονωμένη πύλη (*insulated gate bipolar transistor, IGBT*)



Σχήμα 53:Δομή διπολικού τρανζίστορ

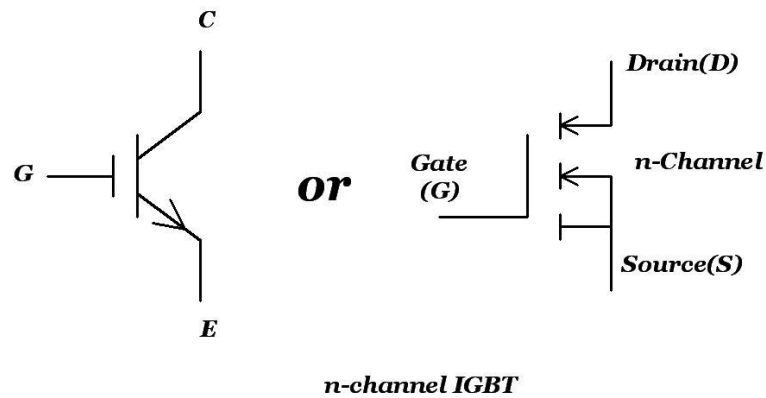
Η δομή ενός τέτοιου διπολικού τρανζίστορ είναι παρόμοια με αυτή ενός MOSFET , αν και αυτά τα δύο εξαρτήματα μοιάζουν έχουν μια κύρια διαφορά στο τελευταίο στρώμα έγχυσης, την περιοχή που σχηματίζεται ο απαγωγός (*drain*) , βλέποντας καλύτερα την δομή του παρατηρούμε πως υπάρχει ένα θυρίστορ με λάθος δομή γι'αυτό κατά τη σύνδεσή του σε ένα κύκλωμα θα δημιουργηθούν παράσιτα. Λόγω του παρασιτικού θυρίστορ, το μήκος του μετάλλου που υπάρχει δεν εκτείνεται σε όλο το πλάτος για την μείωση των παράσιτων. Ακόμα και το κυκλωματικό σύμβολο του IGBT είναι παρόμοιο με το MOSFET με την μόνη διαφορά ότι βρίσκεται ακόμη ένα βέλος στον ακροδέκτη του απαγωγό.



Σχήμα 54:Χαρακτηριστικές ρεύματος-τάσης

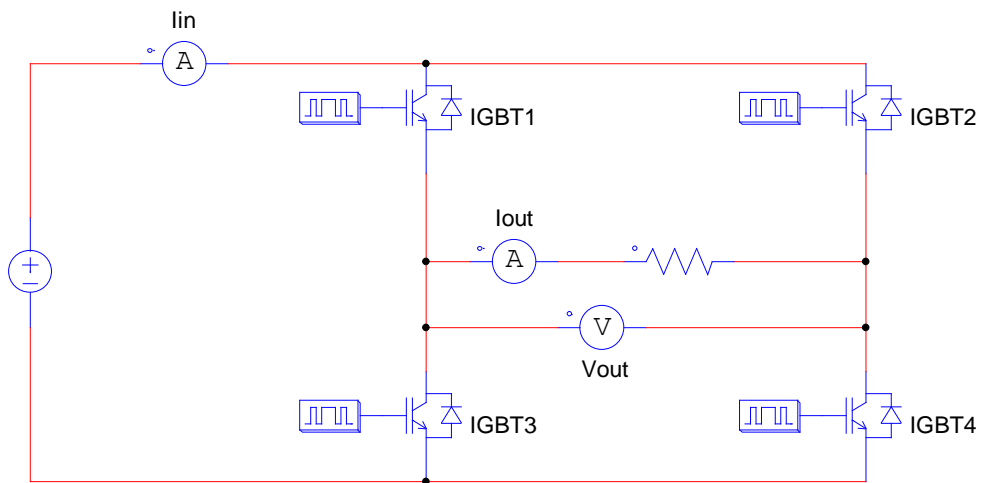
Εκτός από το IGBT υπάρχει και το BJT το οποίο έχει μικρότερες απώλειες αγωγιμότητας ,κυρίως σε στοιχεία με μεγαλύτερες τάσεις αποκοπής, έχουν όμως μεγαλύτερους χρόνους μετάβαση ιδιαίτερα κατά την αποκοπή. Επίσης έχει διαφορετικό κυκλωματικό σύμβολο, γιατί έχει εκπομπό και συλλέκτη νατί για απαγωγό και πηγή, όπως δείχνει το σχήμα παραπάνω.

Όσον αφορά τις χαρακτηριστικές ρεύματος –τάσης ενός IGBT και ενός BJT οι χαρακτηριστικές τους είναι σχεδόν ίδιες, αλλά στο BJT η ελέγχουσα παράμετρος είναι η τάση πηγής-πύλης, αντί για ρεύμα.



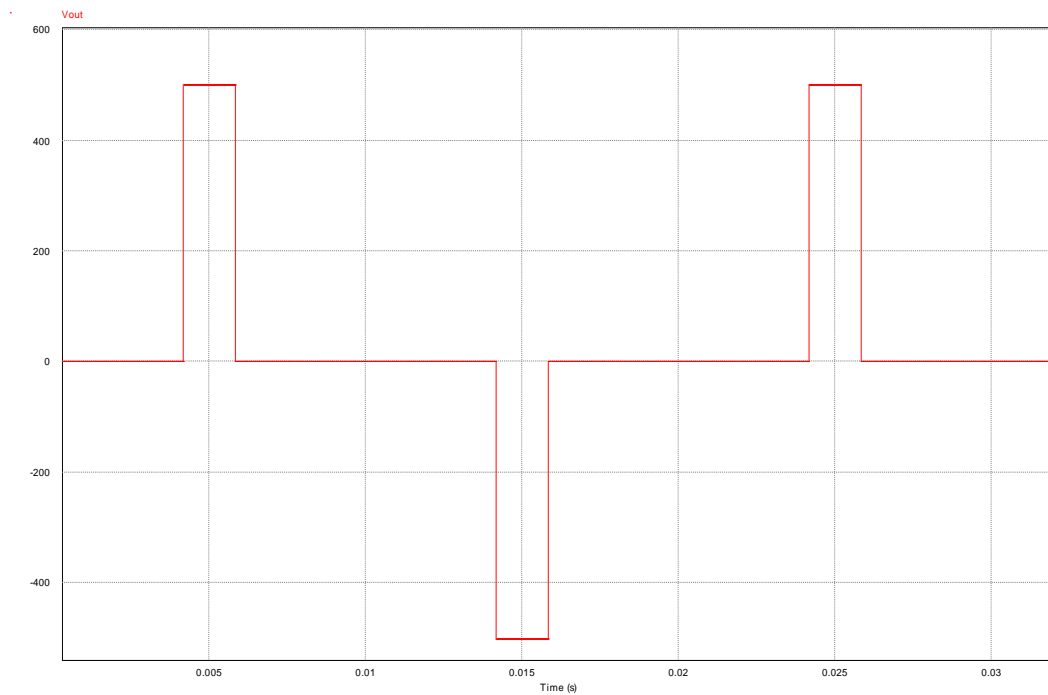
Σχήμα 55:Κυκλωματικό σύμβολο IGBT

### 3.2:Μονοφασικός Inverter

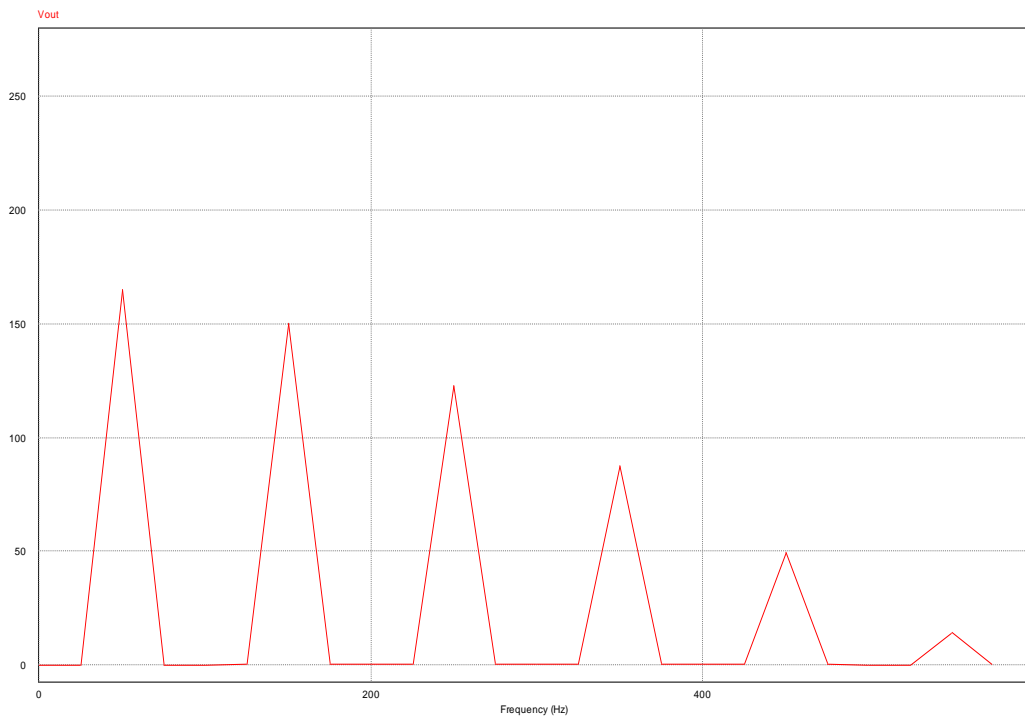


Σχήμα 56:Κύκλωμα μονοφασικού Inverter

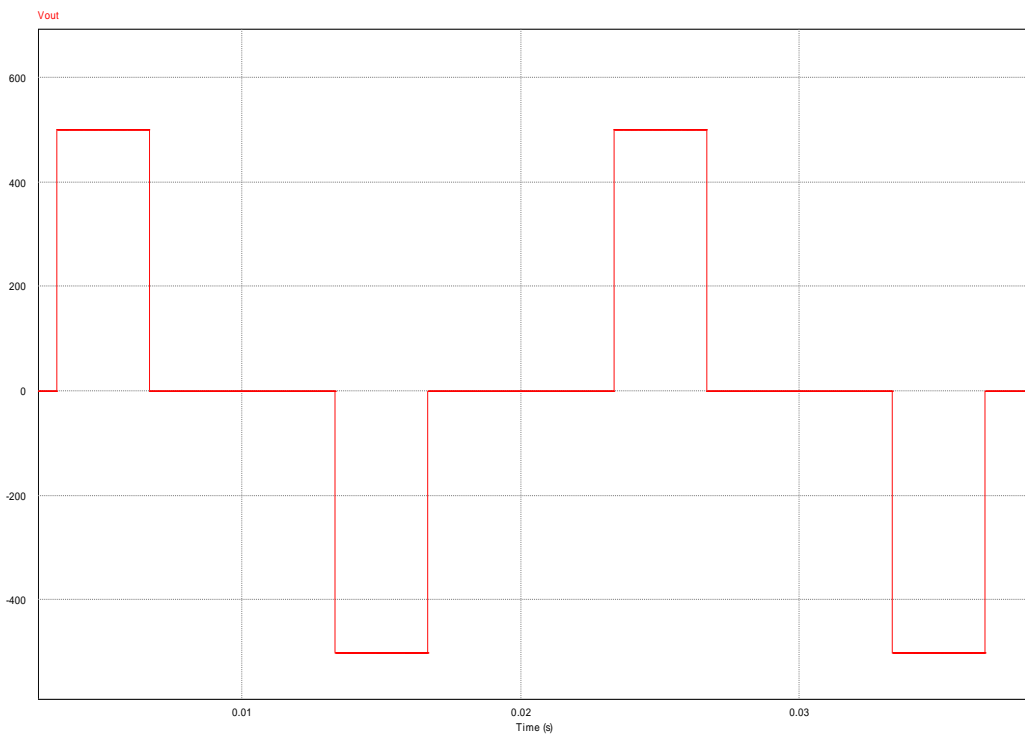
Στο παραπάνω κύκλωμα θεωρώ συνεχείς τάση 500 Volt με συχνότητα στα 50 Hz και αντίσταση 100Ω.



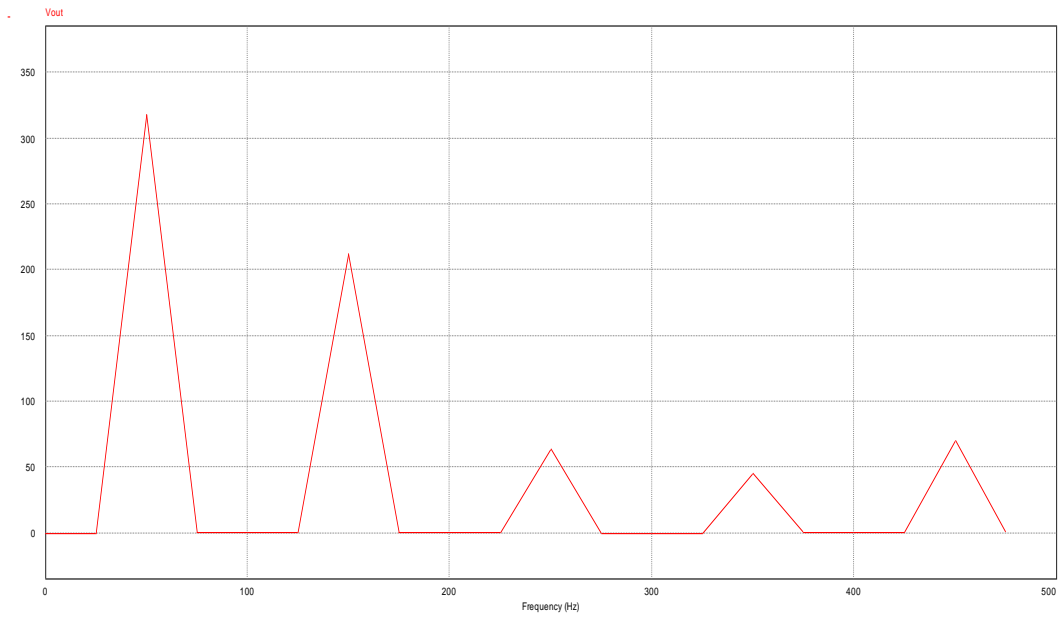
Σχήμα 57:Κυματομορφή τάσης εξόδου στις 30°



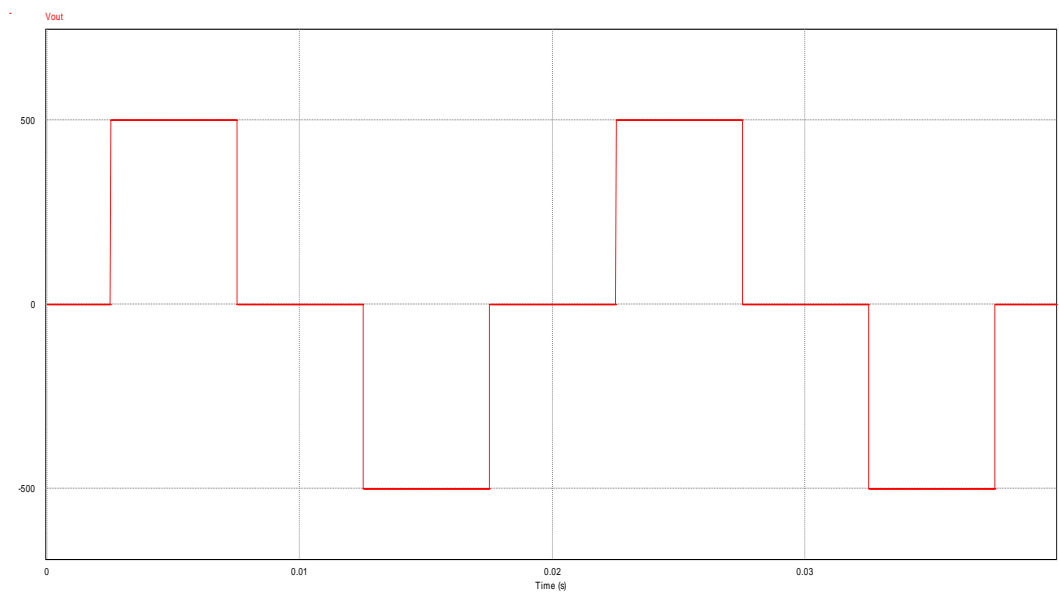
Σχήμα 58: Κυματομορφή αρμονικών συχνοτήτων στις  $30^\circ$



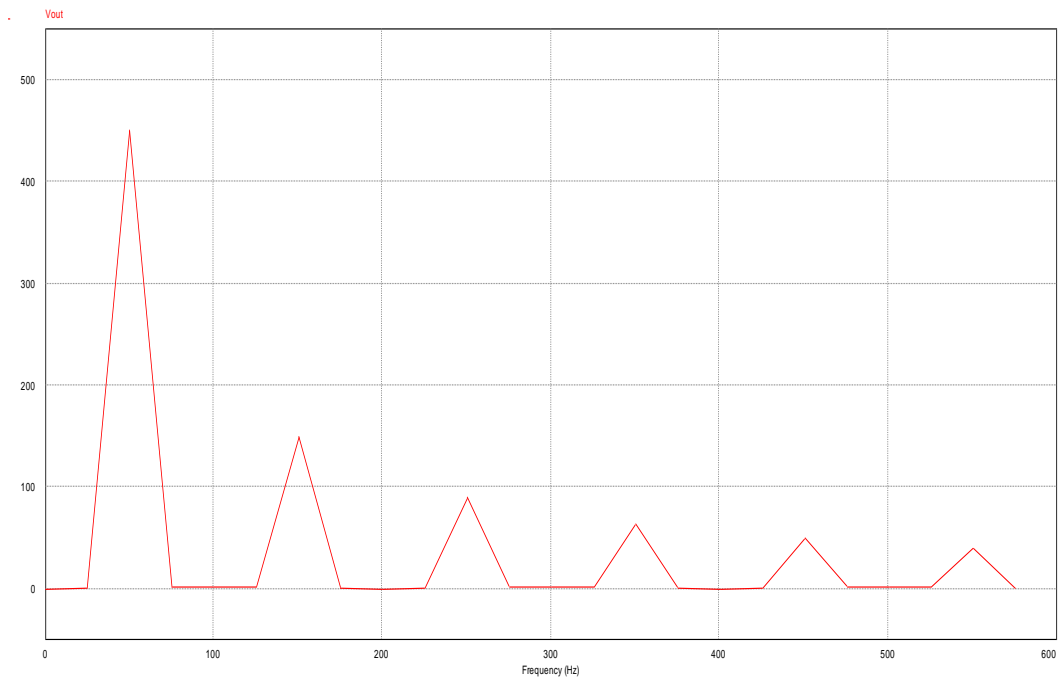
Σχήμα 59: Κυματομορφή τάσης εξόδου στις  $60^\circ$



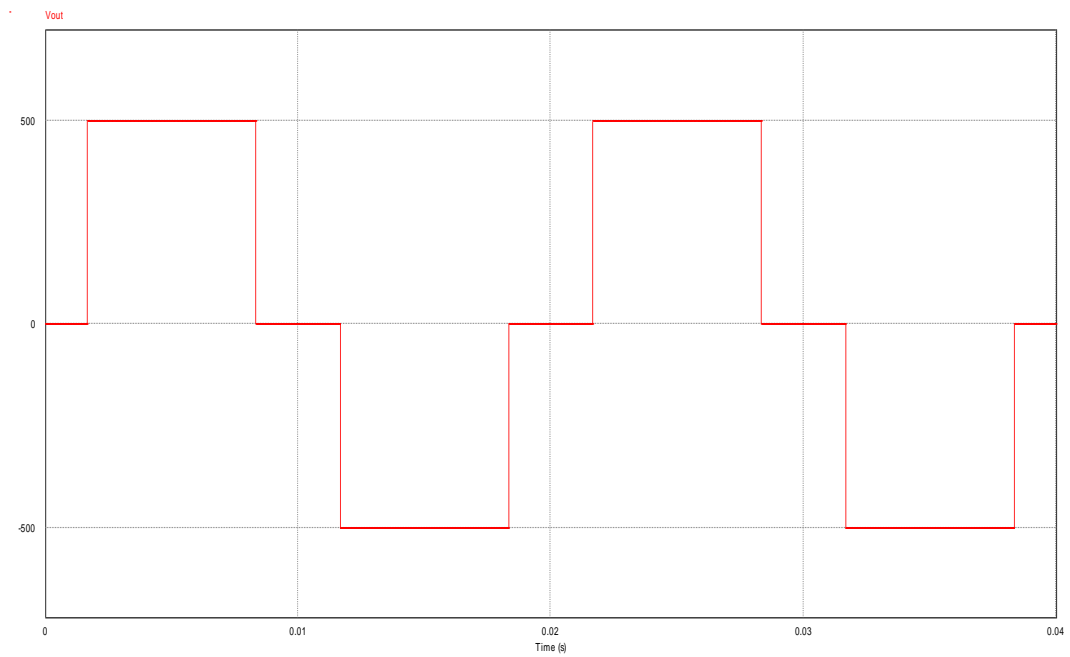
*Σχήμα 59: Κυματομορφή αρμονικών συχνοτήτων στις 60°*



*Σχήμα 60: Κυματομορφή τάσης εξόδου στις 90°*

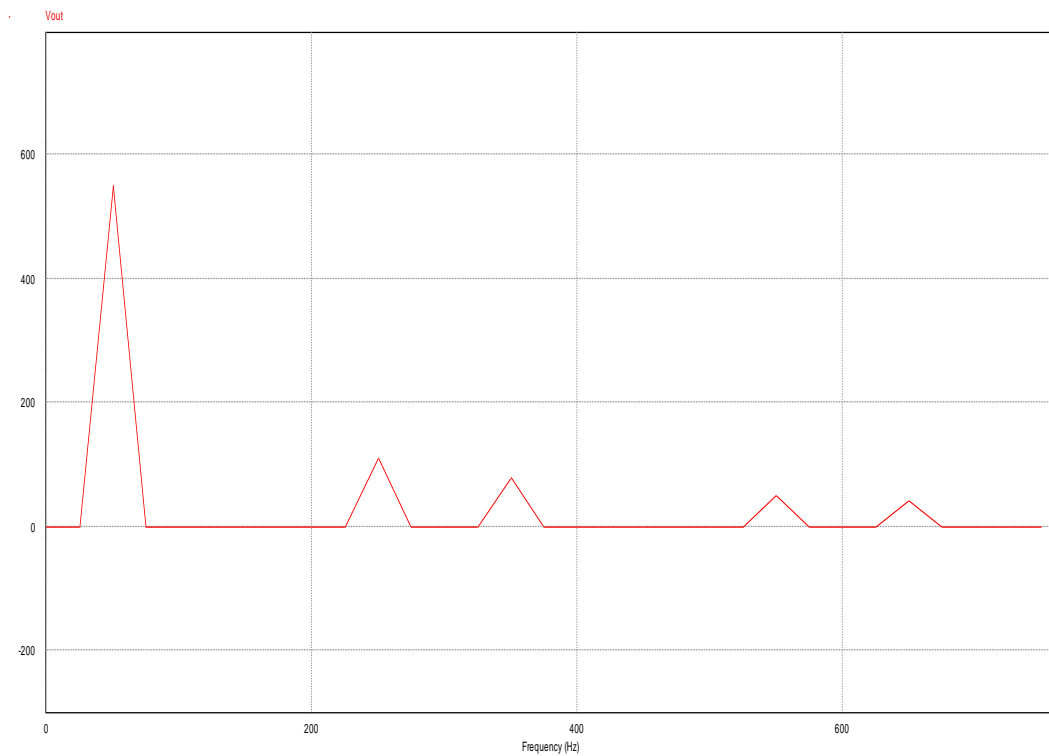


*Σχήμα 61: Κυματομορφή αρμονικών συχνοτήτων στις  $90^\circ$*



*Σχήμα 62: Κυματομορφή τάσης εξόδου στις  $120^\circ$*





Σχήμα 63:Κυματομορφή αρμονικών συχνοτήτων στις 120°

Συχνότητα(Hz)	Vout στις 30°	Vout στις 60°	Vout στις 90°	Vout στις 120°
50	165	318	450	551
150	150	212	149	0
250	122	63	90,2	109,9
350	87,6	45	64,1	79
450	49,6	70	50,1	0

Πίνακας 8:Τιμές αρμονικών στις 30°, 60°, 90°, 120°

## **Επίλογος-Συμπεράσματα**

Κλείνοντας, σε αυτή την πτυχιακή εργασία παρουσιάσαμε τα βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα τα οποία τα τοποθετήσαμε σε κυκλώματα που σχεδιάστηκαν με το PSIM, παρουσιάσαμε τις πολλές και ποικίλες λειτουργίες οι οποίες αναδείχτηκαν μέσα από κυματομορφές και πίνακες ώστε να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας των εξαρτημάτων σε διάφορες καταστάσεις.

## **Βιβλιογραφία**

1. Ηλεκτρονικά ισχύος N. Mohan T.A. Undeland W P. Robbins B' έκδοση
2. Ηλεκτρονική Αρχές και εφαρμογές 7<sup>η</sup> έκδοση Albert Malvino
3. Γενικά Ηλεκτρονικά Β' τάξης Τεχνικού λυκείου