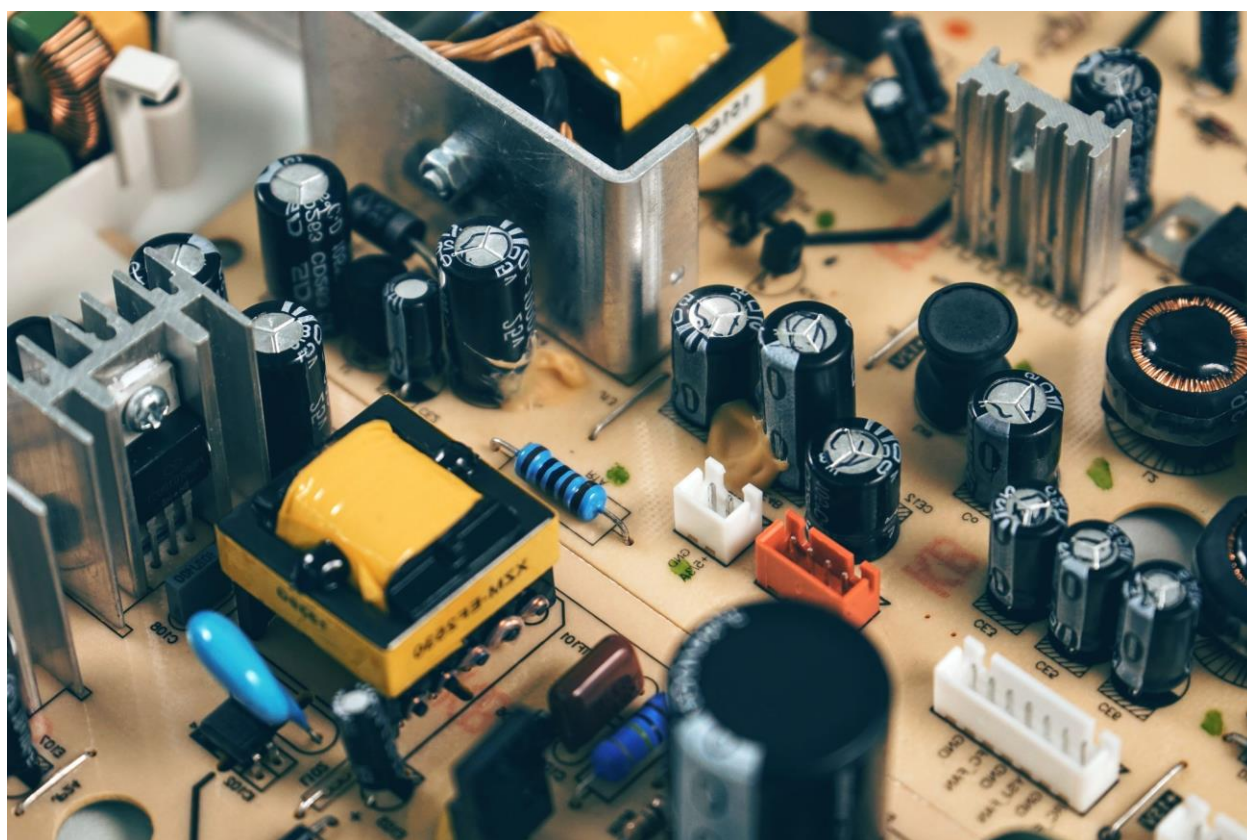


## Ηλεκτρονικά Ισχύος – Εργαστήριο 2

### Ελεγχόμενη Τριφασική Ανόρθωση Πλήρους Γέφυρας

Κάπρος Παναγιώτης: 03118926



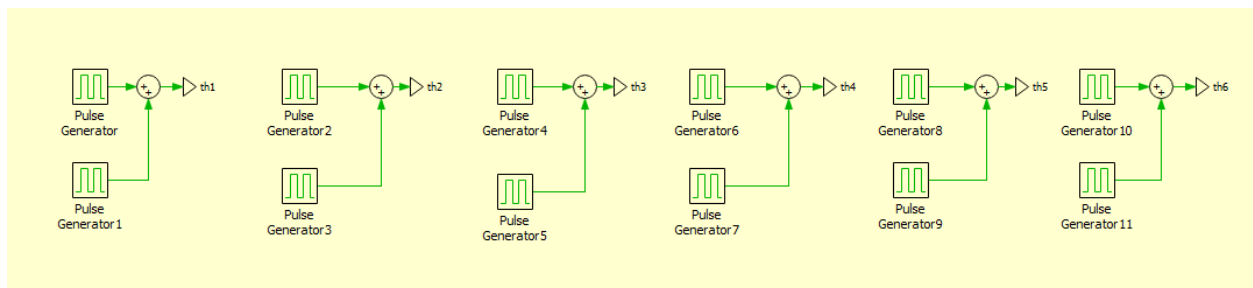
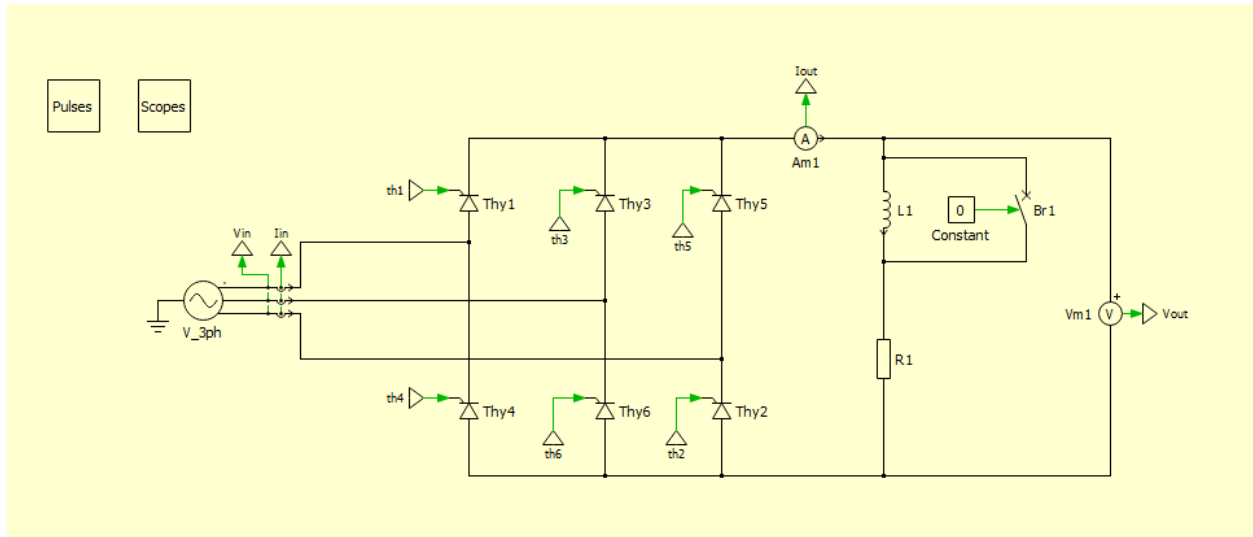
Σκοπός της άσκησης αποτελεί η εξοικείωση και κατανόηση της λειτουργίας των ηλεκτρονικών διατάξεων στην τριφασική ανόρθωση τάσης μέσω thyristor.

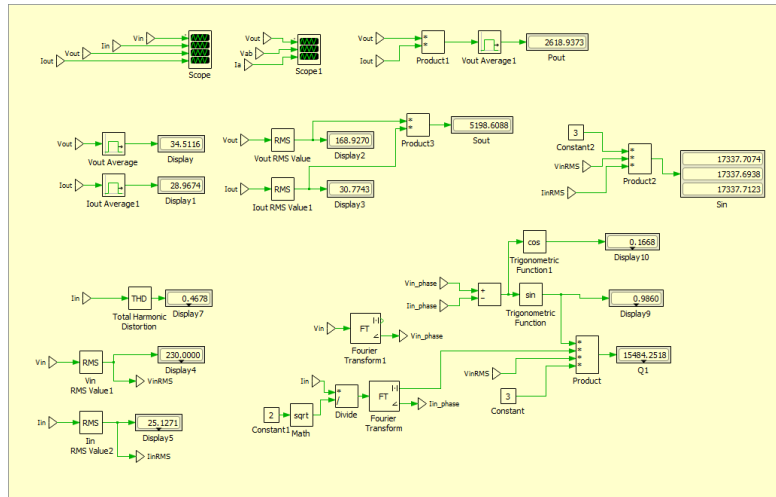
## Α Μέρος

1. Γνωρίζουμε πως μία τριφασική πηγή αποτελείται από τρεις μονοφασικές πηγές εναλλασσόμενης τάσης πλάτους  $V$  με διαφορά φάσης της μιας πηγής σε σχέση με την άλλη κατά  $120^\circ$ . Είναι έτσι κατανοητό πως τα thyristor θα άγουν κατά ένα χρονικό διάστημα με μία από τις τρεις αυτές πηγές. Συγκεκριμένα: έχοντας ως τάση αναφοράς την πηγή με διαφορά φάσης  $0^\circ$ , ξέρουμε ότι σε μία περίοδο ασκούνται οι τάσεις  $V_{ab}$ , και  $V_{ac}$  στο thyristor 1.
2. Η διάταξη ονομάζεται έτσι καθώς απορροφάται ρεύμα από την τριφασική πηγή σε 6 παλμούς.
3. Οι συνθήκες λειτουργίας ενός thyristor είναι: 1) η τάση στην άνοδο να είναι μικρότερη της καθόδου, 2) να έχει δοθεί 'σήμα' για να λειτουργήσει το thyristor και 3) να υπάρχει αρκετό ρεύμα στην άνοδο σε αντίθεση με μια δίοδο όπου χρειάζεται μόνο η προϋπόθεση 1) και 2) για να λειτουργήσει. Το ρεύμα μανδάλωσης αποτελεί μία ελάχιστη τιμή ρεύματος ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί έναυση του στοιχείου.
4. Για να έχουμε σβέση σε ένα thyristor θα πρέπει το ρεύμα της ανόδου (το οποίο καθορίζεται από το υπόλοιπο κύκλωμα) να μειωθεί κάτω από μία ορισμένη τιμή που ονομάζεται ρεύμα συγκράτησης ή κρίσιμο ρεύμα διέλευσης.
5. Με βάση το datasheet η μέγιστη τιμή που μπορεί το thyristor να δεχτεί είναι τα 800V. Η παράμετρος DRM είναι η μέγιστη τάση που μπορεί το thyristor να δεχτεί στην θετική πόλωσή του ενώ RRM είναι η μέγιστη τάση στην αρνητική πόλωση.
6. Έχοντας υπ' όψη τα χαρακτηριστικά του ελληνικού δικτύου, συμπεραίνουμε πως το thyristor είναι κατάλληλο προς χρήση καθώς το δίκτυο έχει μέγιστη πολική τάση διανομής τα 800V.
7. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το thyristor 'βλέπει' σε μια περίοδο τις πολικές τάσεις εισόδου. Έτσι το στοιχείο θα πρέπει να είναι σε θέση να δέχεται τάση τιμής:  
 $\sqrt{2} * V_{LL} = 563V$ , όπου βάσει datasheet είναι εφικτό. Να σημειωθεί πως αυτή θα είναι η ελάχιστη ονομαστική τάση και 17.76A η RMS ελάχιστη τιμή του ρεύματος.

## Β Μέρος

Σε αυτό το σημείο της άσκησης πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της διάταξης τριφασικής γέφυρας 6 παλμών στο πρόγραμμα προσομοίωσης PLECS.

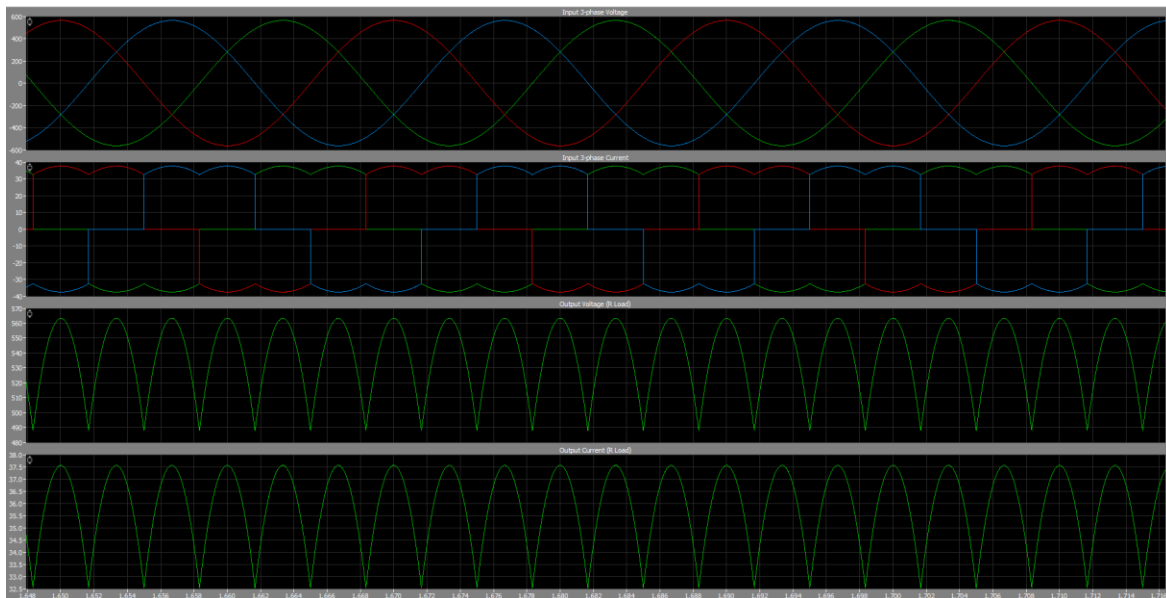




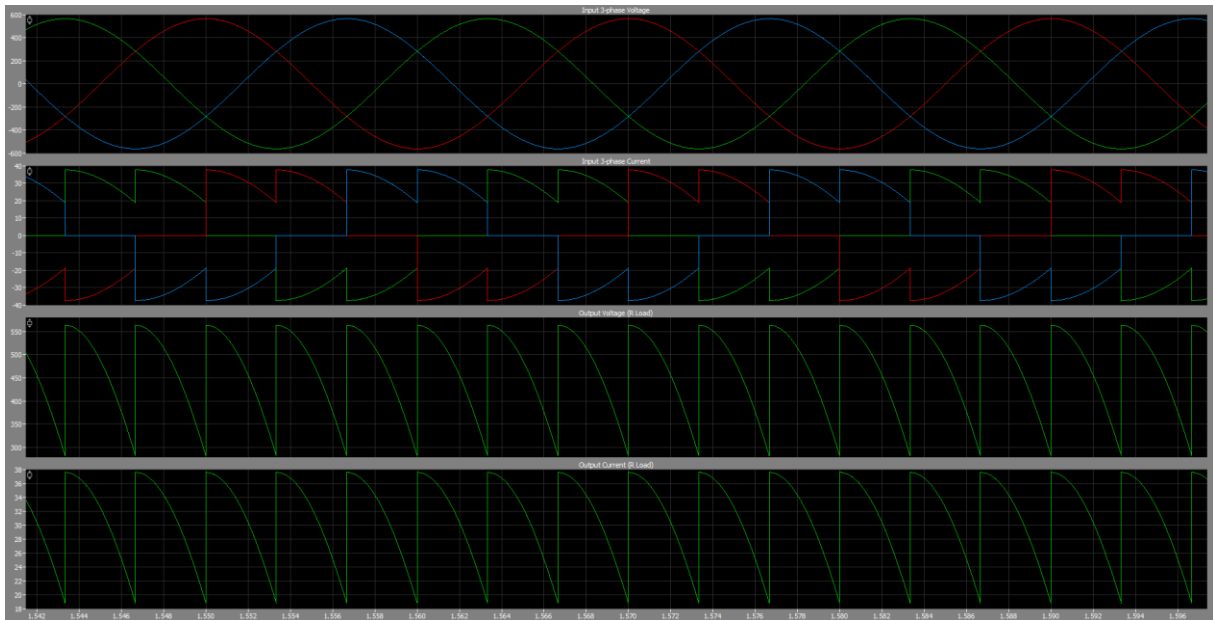
## B.1

1) α) Εκτελώντας προσομοίωση στο κύκλωμα της τριφασικής γέφυρας 6 παλμών (διάρκεια προσομοίωσης 3'') και για τις παρακάτω γωνίες έναυσης έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

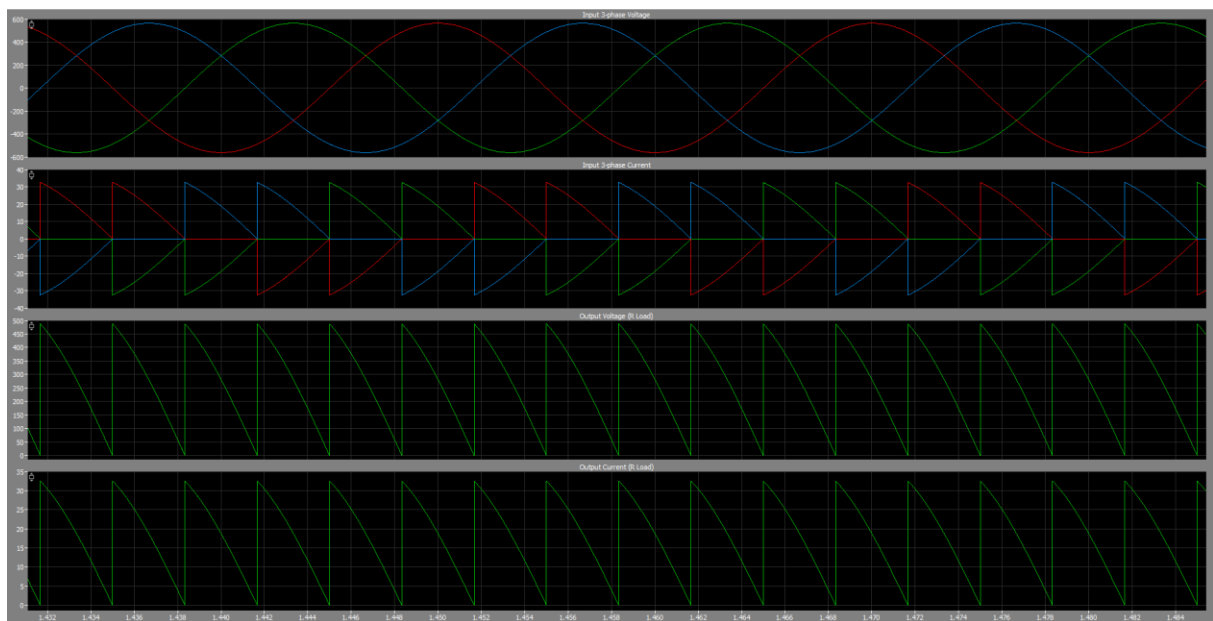
- $\alpha = 0^\circ$ :  $V_{out, average} = 537.99V$ ,  $V_{out, RMS} = 538.46V$ ,  $I_{out, average} = 35.86A$ ,  $I_{out, RMS} = 35.89A$ . Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα τάσης και ρεύματος εισόδου και εξόδου που προκύπτουν:



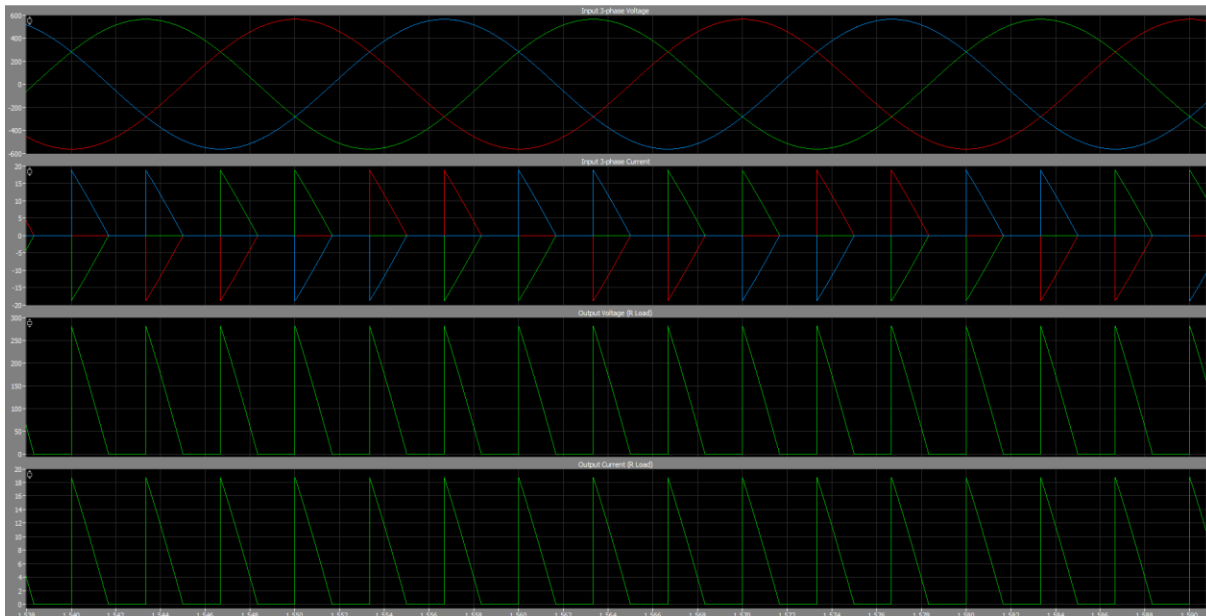
- $\alpha = 30^\circ$ :  $V_{out, average} = 465.91V$ ,  $V_{out, RMS} = 473.62V$ ,  $I_{out, average} = 31.06A$ ,  $I_{out, RMS} = 31.57A$ . Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα τάσης και ρεύματος εισόδου και εξόδου που προκύπτουν:



- $\alpha = 60^\circ$ :  $V_{out, average} = 268.99V$ ,  $V_{out, RMS} = 305.08V$ ,  $I_{out, average} = 17.93A$ ,  $I_{out, RMS} = 20.33A$ . Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα τάσης και ρεύματος εισόδου και εξόδου που προκύπτουν:



- $\alpha = 90^\circ$ :  $V_{out, average} = 72.07V$ ,  $V_{out, RMS} = 117.16V$ ,  $I_{out, average} = 4.8A$ ,  $I_{out, RMS} = 7.8A$ .  
Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα τάσης και ρεύματος εισόδου και εξόδου που προκύπτουν:



Το γράφημα συναρτήσεως γωνίας έναυσης για μέσες και RMS τιμές τάσης και ρεύματος παρατίθενται στο ερώτημα B1.3 παρακάτω.

b) Βάσει θεωρίας αλλά και παρατηρώντας το αποτέλεσμα εάν γίνει προσομοίωση της διάταξης για διάφορες γωνίες έναυσης  $\alpha$ , προκύπτει ότι έχουμε μέγιστη μέση τιμή ρεύματος για γωνία έναυσης  $\alpha = 0^\circ$ . Για να έχουμε απόκριση στην έξοδο θα πρέπει η γωνία έναυσης να λαμβάνει τιμές από  $[0^\circ, 90^\circ]$ .

c) Για την φαινόμενη και ενεργός ισχύ για κάθε γωνία έναυσης που εξετάζεται χρησιμοποιούμε το Plocs και έχουμε τα εξής:

- $\alpha = 0^\circ$ :  $S = \underline{19329.58VA}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό ισχύ ισχύει:  $P = \underline{19329.58W}$ .
- $\alpha = 30^\circ$ :  $S = \underline{14954.79VA}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό ισχύ ισχύει:  $P = \underline{14954.79W}$ .
- $\alpha = 60^\circ$ :  $S = \underline{6205.2VA}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό ισχύ ισχύει:  $P = \underline{6205.2W}$ .
- $\alpha = 90^\circ$ :  $S = \underline{915.2VA}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό ισχύ ισχύει:  $P = \underline{915.2W}$ .

d) Η μέγιστη τιμή ενεργούς ισχύος εμφανίζεται για  $\alpha = 0^\circ$  και η ελάχιστη τιμή για γωνία έναυσης  $\alpha = 90^\circ$ .

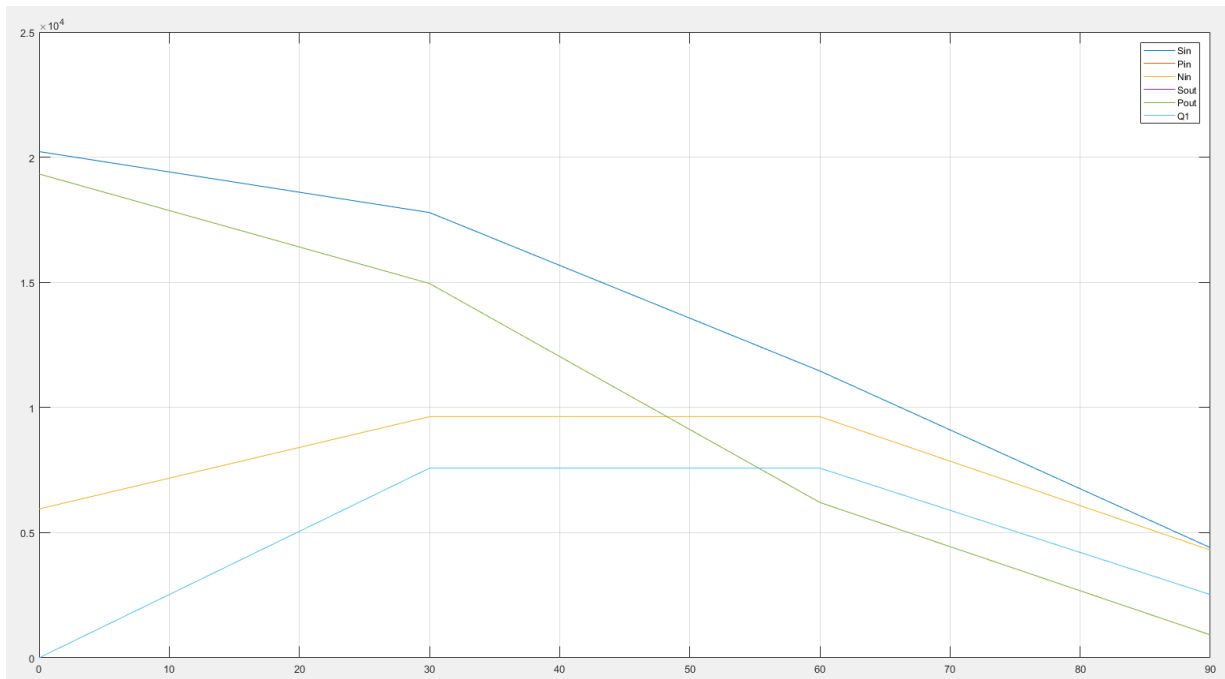
ε) Για την φαινόμενη ισχύ ξέρουμε από την θεωρία πως ισούται με:  $S = 3 * V_{In, RMS} * I_{In, RMS}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό και άεργο ισχύ έχουμε ότι:  $P_{in} = P_{out}$  και  $N = \sqrt{S^2 - P_{in}^2}$ . Έτσι τελικά έχουμε:

- $\alpha = 0^\circ$ :  $S = \underline{20224.09VA}$ ,  $P = \underline{19329.58W}$ ,  $N = \underline{5948.2Var}$ .
- $\alpha = 30^\circ$ :  $S = \underline{17788.85VA}$ ,  $P = \underline{14954.79W}$ ,  $N = \underline{9633.14Var}$ .
- $\alpha = 60^\circ$ :  $S = \underline{11458.71VA}$ ,  $P = \underline{6205.2W}$ ,  $N = \underline{9633.14Var}$ .
- $\alpha = 90^\circ$ :  $S = \underline{4400.65VA}$ ,  $P = \underline{915.2W}$ ,  $N = \underline{4304.43Var}$ .

φ) Για τον υπολογισμό της άεργου ισχύς μεταξύ τάσης και ρεύματος της βασικής αρμονικής χρησιμοποιήθηκε το Plescs βρίσκοντας με το Fourier Transform function που εμπεριέχεται στο Plescs την πρώτη αρμονική ρεύματος εισόδου καθώς και την φάση του ρεύματος και τάσης. Έπειτα, έχοντας τα παραπάνω αποτελέσματα χρησιμοποιούμε το Plescs για τον υπολογισμό του τελικού αποτελέσματος. Έτσι έχουμε:

- $\alpha = 0^\circ$ :  $Q = 3 * V_{In, RMS} * I_{In,1} * \sin(\phi) = \underline{0Var}$ .
- $\alpha = 30^\circ$ :  $Q = 3 * V_{In, RMS} * I_{In,1} * \sin(\phi) = \underline{7577.36Var}$ .
- $\alpha = 60^\circ$ :  $Q = 3 * V_{In, RMS} * I_{In,1} * \sin(\phi) = \underline{7577.36Var}$ .
- $\alpha = 90^\circ$ :  $Q = 3 * V_{In, RMS} * I_{In,1} * \sin(\phi) = \underline{2525.78Var}$ .

g) Παρακάτω παρατίθεται η κοινή γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων των ερωτημάτων c, e, f συναρτήσει της γωνίας έναυσης 'α':



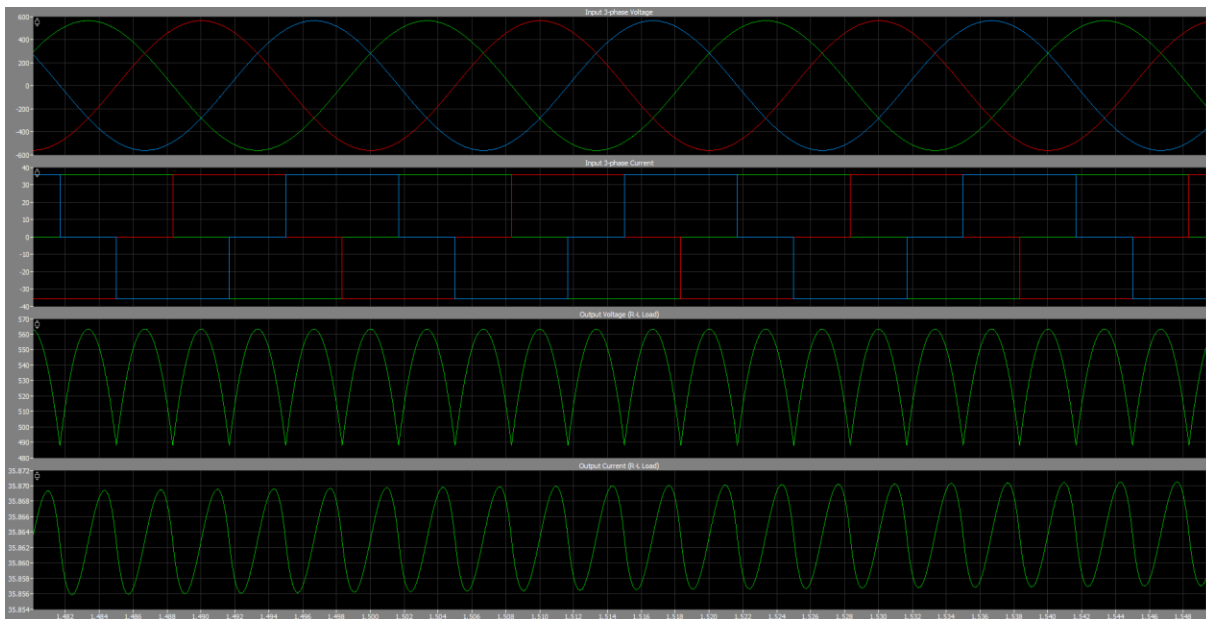
Αυτό που παρατηρείται είναι πως για μεγάλες γωνίες έναυσης που πλησιάζουν ή και φτάνουν στην γωνία των 90° οι απεικονιζόμενες παραπάνω τιμές μειώνονται εξαιρετικά.

h) Για τον συντελεστή ισχύος έχουμε ότι:  $\lambda = \frac{P}{S}$ . Για τον συντελεστή αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος εισόδου χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα Plects που βρίσκει αυτόματα το αποτέλεσμα. Έτσι για κάθε εξεταζόμενη γωνία έναυσης έχουμε:

- $\alpha = 0^\circ: \lambda = \frac{P}{S} = \frac{19329.58}{20224.09} = \mathbf{0.95}$  και THD = 30%.
- $\alpha = 30^\circ: \lambda = \frac{P}{S} = \frac{14954.79}{17788.85} = \mathbf{0.84}$  και THD = 35%.
- $\alpha = 60^\circ: \lambda = \frac{P}{S} = \frac{6205.2}{11458.71} = \mathbf{0.54}$  και THD = 60%.
- $\alpha = 90^\circ: \lambda = \frac{P}{S} = \frac{915.2}{4400.65} = \mathbf{0.2}$  και THD = 129 %.

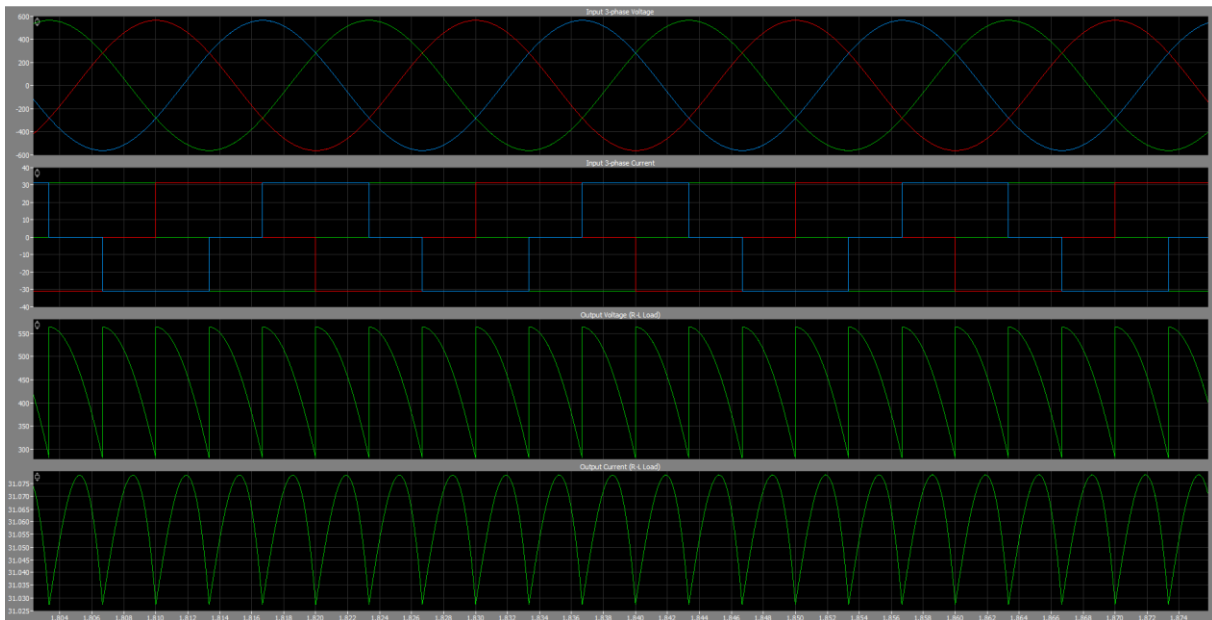
2) α) Εκτελώντας προσομοίωση στο κύκλωμα της τριφασικής γέφυρας 6 παλμών (διάρκεια προσομοίωσης 3'') και για τις παρακάτω γωνίες έναυσης έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

- $\alpha = 0^\circ: V_{\text{out, average}} = 537.99\text{V}, V_{\text{out, RMS}} = 538.46\text{V}, I_{\text{out, average}} = 35.86\text{A}, I_{\text{out, RMS}} = 35.86\text{A}.$   
Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα τάσης και ρεύματος εισόδου και εξόδου που προκύπτουν:

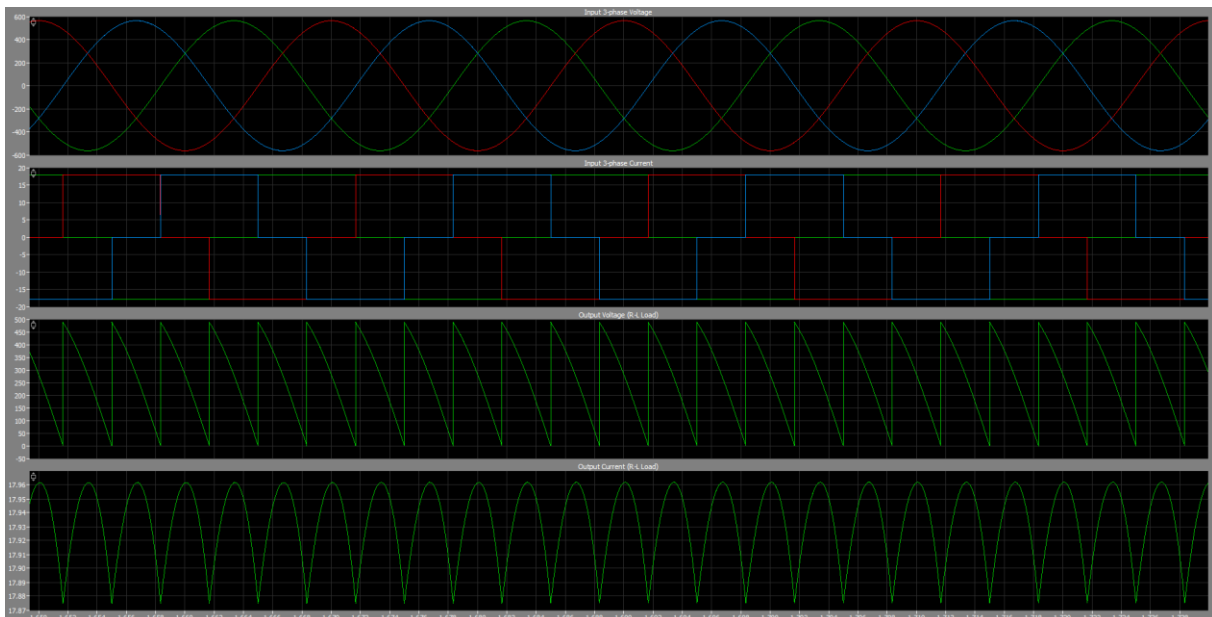




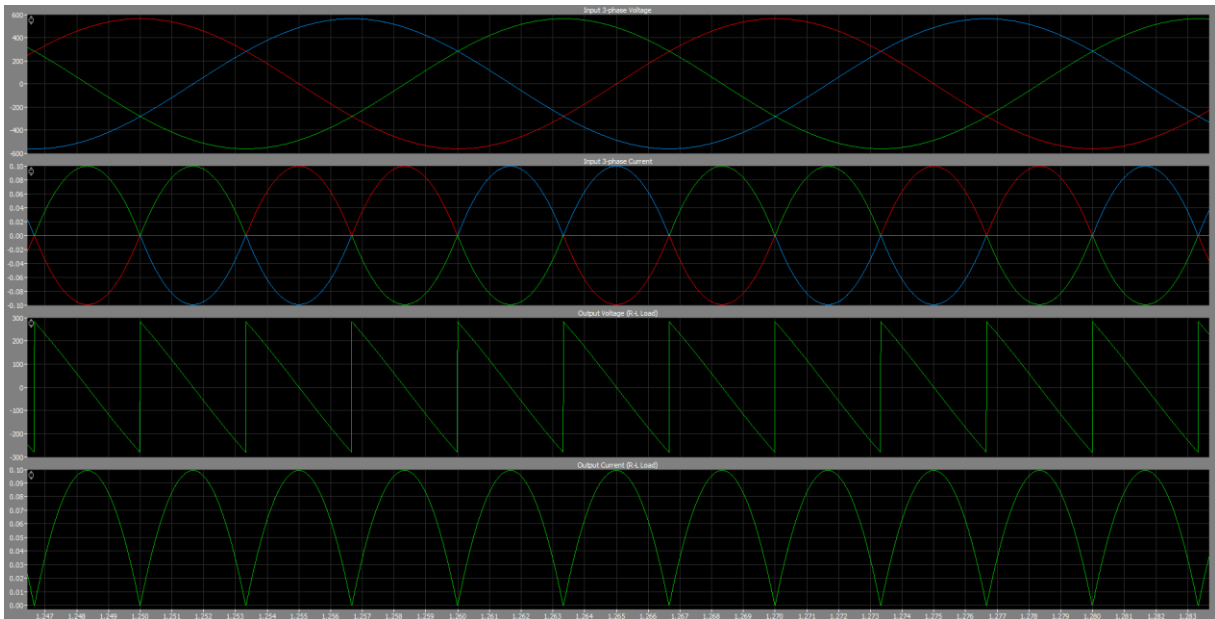
- $\alpha = 30^\circ$ :  $V_{out, average} = 465.91V$ ,  $V_{out, RMS} = 473.62V$ ,  $I_{out, average} = 31.06A$ ,  $I_{out, RMS} = 31.06A$ . Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα τάσης και ρεύματος εισόδου και εξόδου που προκύπτουν:



- $\alpha = 60^\circ$ :  $V_{out, average} = 268.99V$ ,  $V_{out, RMS} = 305.08V$ ,  $I_{out, average} = 17.93A$ ,  $I_{out, RMS} = 17.93A$ . Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα τάσης και ρεύματος εισόδου και εξόδου που προκύπτουν:



- $\alpha = 90^\circ$ :  $V_{out, average} = 0.98V$ ,  $V_{out, RMS} = 164.86V$ ,  $I_{out, average} = 0.06A$ ,  $I_{out, RMS} = 0.07A$ .  
Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα τάσης και ρεύματος εισόδου και εξόδου που προκύπτουν:



Το γράφημα συναρτήσει γωνίας έναυσης για μέσες και RMS τιμές τάσης και ρεύματος παρατίθενται στο ερώτημα B1.3 παρακάτω.

b) Βάσει θεωρίας αλλά και παρατηρώντας το αποτέλεσμα εάν γίνει προσομοίωση της διάταξης για διάφορες γωνίες έναυσης  $\alpha$ , προκύπτει ότι έχουμε μέγιστη μέση τιμή ρεύματος για γωνία έναυσης  $\alpha = 0^\circ$ . Για να έχουμε απόκριση στην έξοδο θα πρέπει η γωνία έναυσης να λαμβάνει τιμές από  $[0^\circ, 120^\circ]$ .

c) Για την φαινόμενη και ενεργός ισχύ για κάθε γωνία έναυσης που εξετάζεται χρησιμοποιούμε το PLECS και έχουμε τα εξής:

- $\alpha = 0^\circ$ :  $S = \underline{19312.59VA}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό ισχύ ισχύει:  $P = \underline{19295.6W}$ .
- $\alpha = 30^\circ$ :  $S = \underline{14711.26VA}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό ισχύ ισχύει:  $P = \underline{14471.7W}$ .
- $\alpha = 60^\circ$ :  $S = \underline{5471.13VA}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό ισχύ ισχύει:  $P = \underline{4823.9W}$ .
- $\alpha = 90^\circ$ :  $S = \underline{11.9VA}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό ισχύ ισχύει:  $P = \underline{0.07W}$ .

d) Η μέγιστη τιμή ενεργούς ισχύος εμφανίζεται για  $\alpha = 0^\circ$  και η ελάχιστη τιμή για γωνία έναυσης  $\alpha = 120^\circ$ .

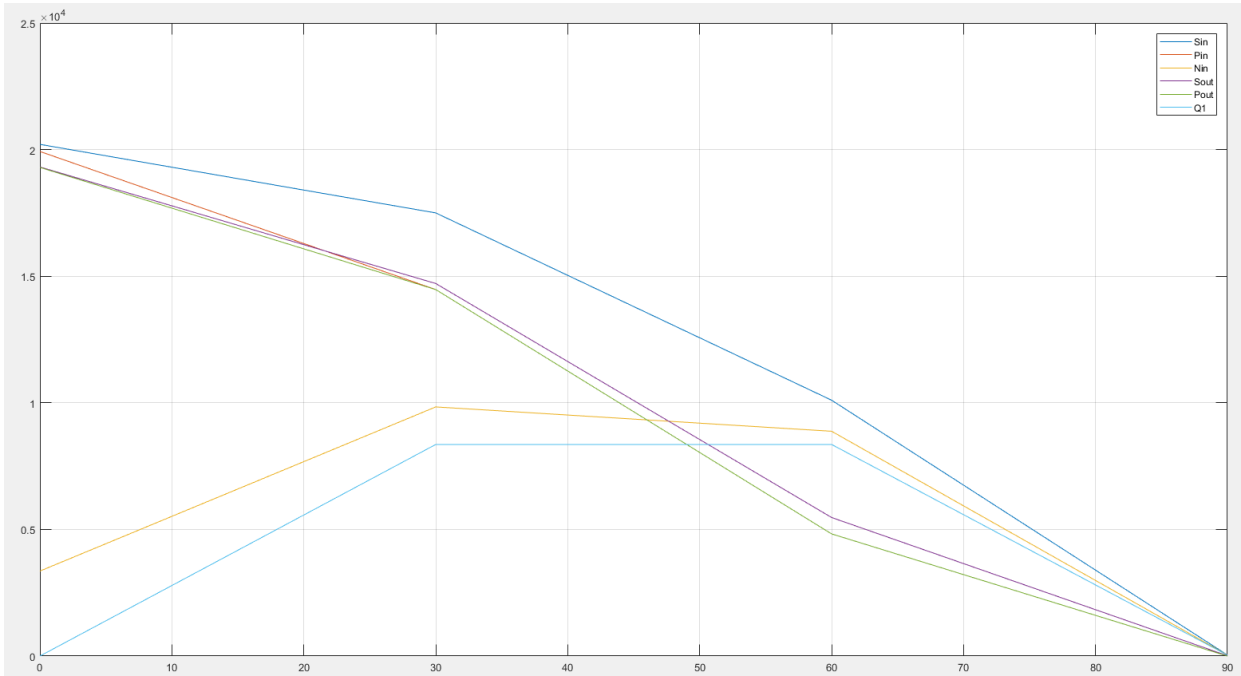
ε) Για την φαινόμενη ισχύ ξέρουμε από την θεωρία πως ισούται με:  $S = 3 * V_{In, RMS} * I_{In, RMS}$ . Αντίστοιχα για την ενεργό και άεργο ισχύ έχουμε ότι:  $P_{in} = P_{out}$  και  $N = \sqrt{S^2 - P_{in}^2}$ . Έτσι τελικά έχουμε:

- $\alpha = 0^\circ$ :  $S = \underline{20206.31VA}$ ,  $P = \underline{19925.6W}$ ,  $N = \underline{3356.4Var}$ .
- $\alpha = 30^\circ$ :  $S = \underline{17499.18VA}$ ,  $P = \underline{14471.7W}$ ,  $N = \underline{9838.25Var}$ .
- $\alpha = 60^\circ$ :  $S = \underline{10103.16}$ ,  $P = \underline{4823.9W}$ ,  $N = \underline{8877.15Var}$ .
- $\alpha = 90^\circ$ :  $S = \underline{40.69VA}$ ,  $P = \underline{0.07W}$ ,  $N = \underline{40.68Var}$ .

φ) Για τον υπολογισμό της άεργου ισχύς μεταξύ τάσης και ρεύματος της βασικής αρμονικής χρησιμοποιήθηκε το PLECS βρίσκοντας με το Fourier Transform function που εμπεριέχεται στο PLECS την πρώτη αρμονική ρεύματος εισόδου καθώς και την φάση του ρεύματος και τάσης. Έπειτα, έχοντας τα παραπάνω αποτελέσματα χρησιμοποιούμε το PLECS για τον υπολογισμό του τελικού αποτελέσματος. Έτσι έχουμε:

- $\alpha = 0^\circ$ :  $Q = 3 * V_{In, RMS} * I_{In,1} * \sin(\phi) = \underline{0.67Var}$ .
- $\alpha = 30^\circ$ :  $Q = 3 * V_{In, RMS} * I_{In,1} * \sin(\phi) = \underline{8355.91Var}$ .
- $\alpha = 60^\circ$ :  $Q = 3 * V_{In, RMS} * I_{In,1} * \sin(\phi) = \underline{8355.9Var}$ .
- $\alpha = 90^\circ$ :  $Q = 3 * V_{In, RMS} * I_{In,1} * \sin(\phi) = \underline{36.04Var}$ .

g) Παρακάτω παρατίθεται η κοινή γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων των ερωτημάτων c, e, f συναρτήσει της γωνίας έναυσης 'α':

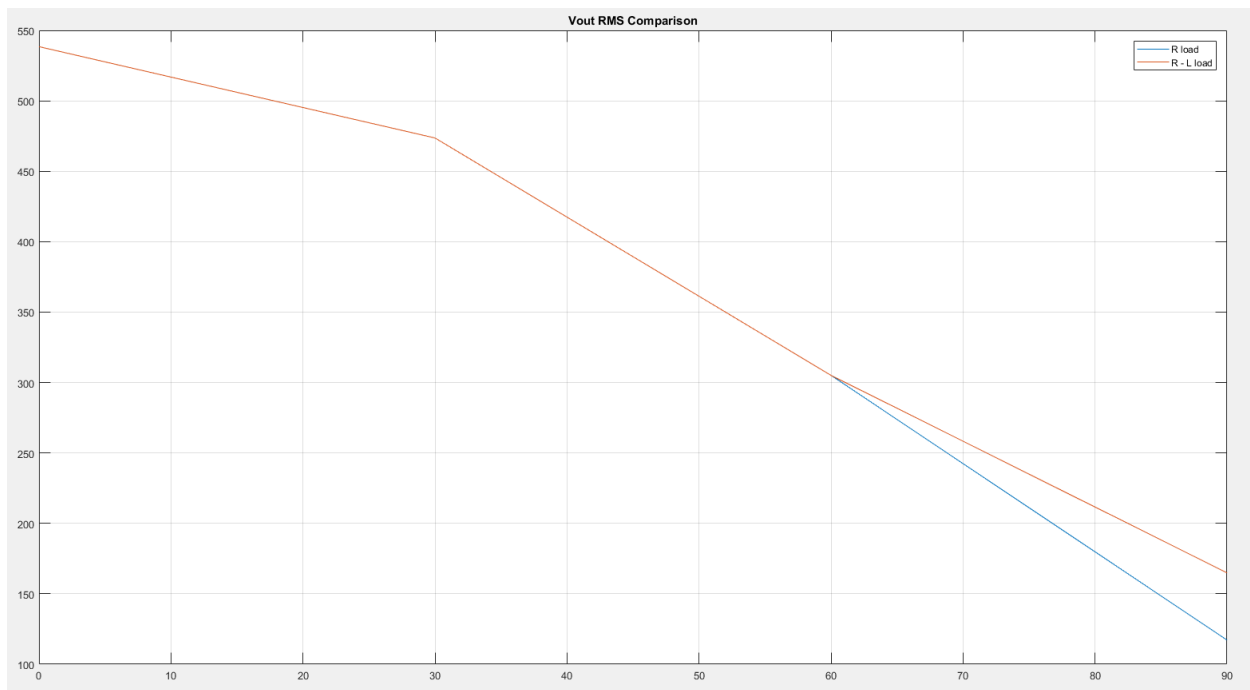
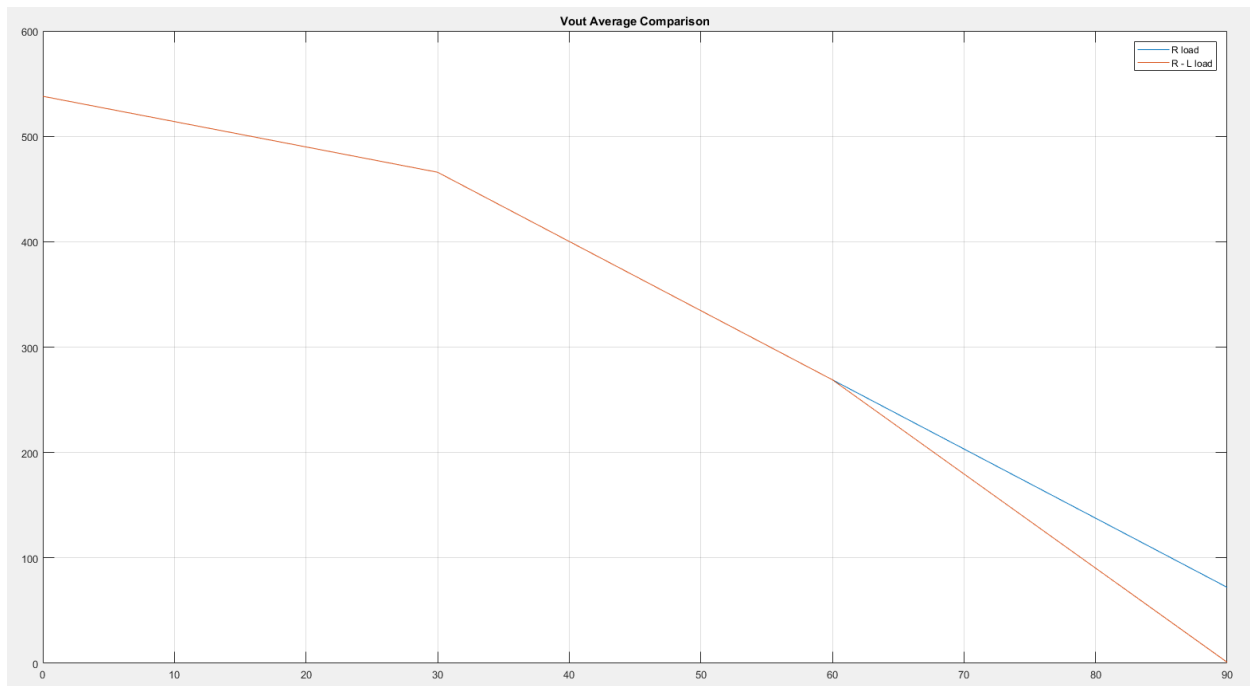


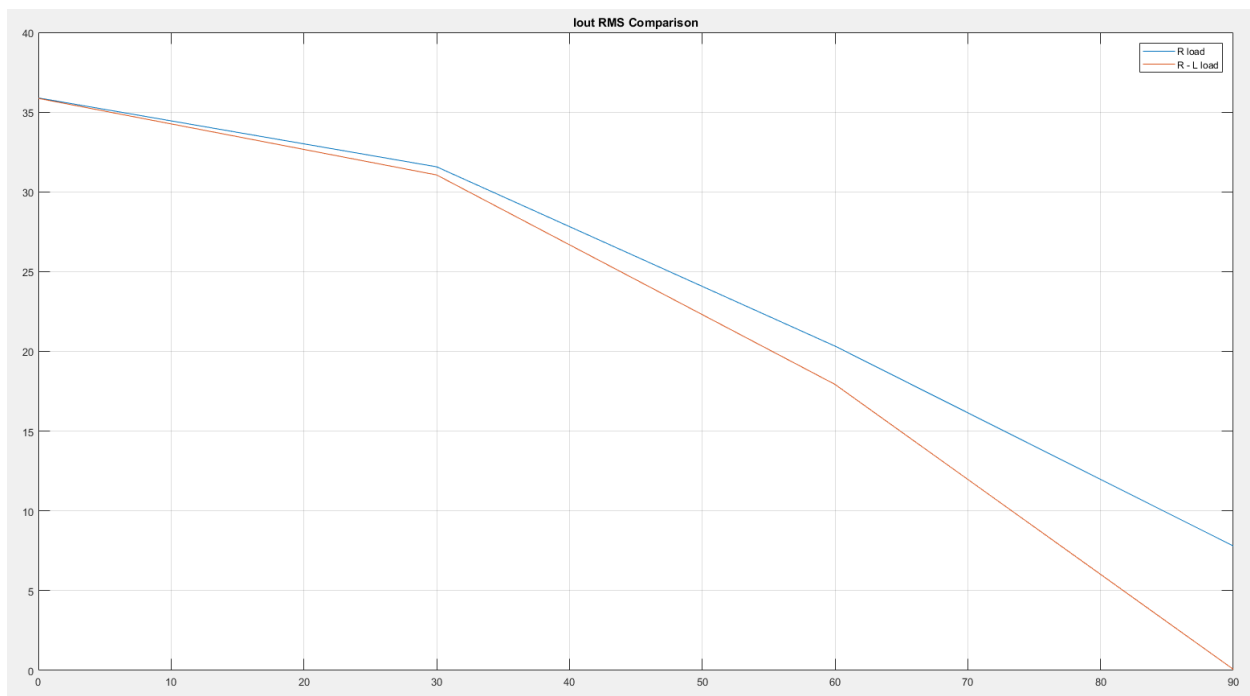
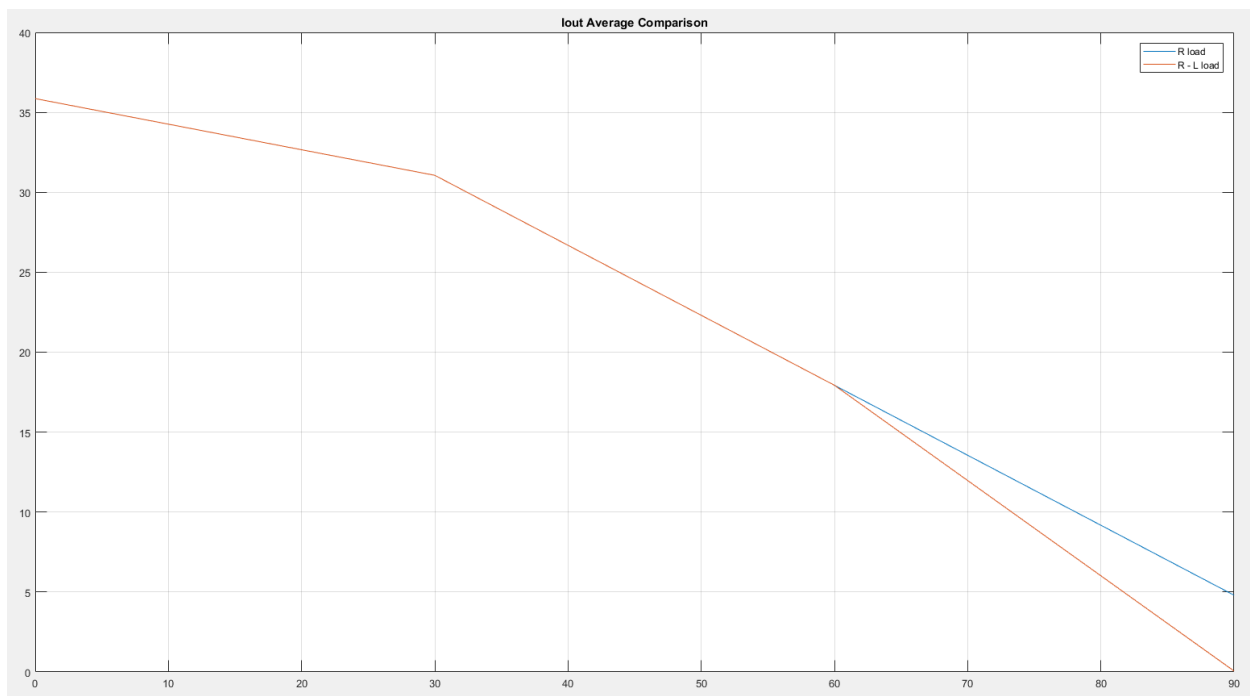
Αυτό που παρατηρείται είναι πως για μεγάλες γωνίες έναυσης που πλησιάζουν ή και φτάνουν στην γωνία των  $90^\circ$  οι απεικονιζόμενες παραπάνω τιμές μειώνονται εξαιρετικά.

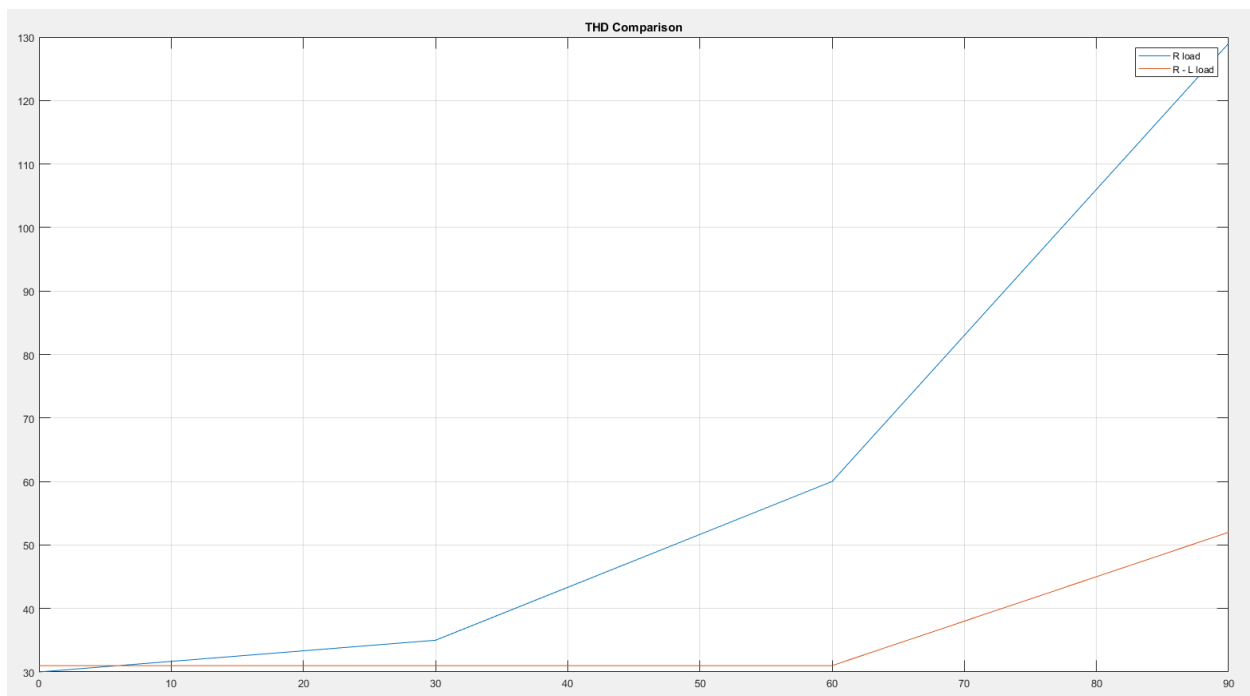
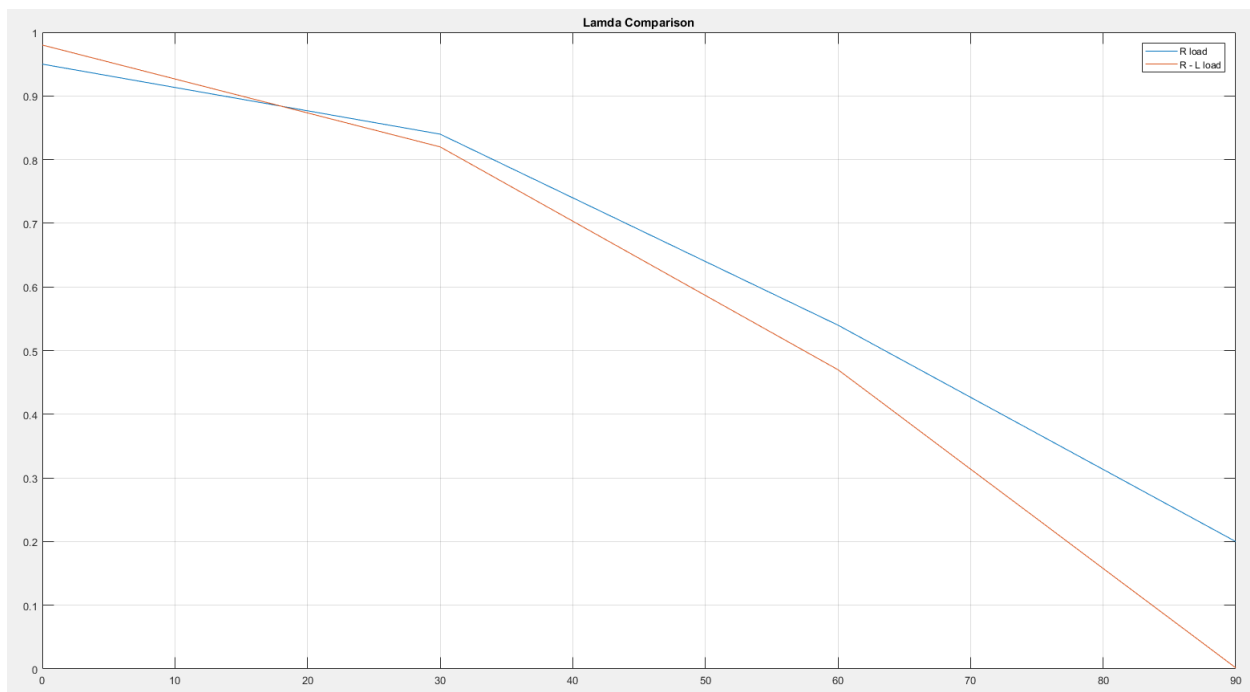
h) Για τον συντελεστή ισχύος έχουμε ότι:  $\lambda = \frac{P}{S}$ . Για τον συντελεστή αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος εισόδου χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα Plects που βρίσκει αυτόματα το αποτέλεσμα. Έτσι για κάθε εξεταζόμενη γωνία έναυσης έχουμε:

- $\alpha = 0^\circ: \lambda = \frac{P}{S} = \frac{19925.6}{20206.31} = \mathbf{0.98}$  και THD = 31%.
- $\alpha = 30^\circ: \lambda = \frac{P}{S} = \frac{14471.7}{17499.18} = \mathbf{0.82}$  και THD = 31%.
- $\alpha = 60^\circ: \lambda = \frac{P}{S} = \frac{4823.9}{10103.16} = \mathbf{0.47}$  και THD = 31%.
- $\alpha = 90^\circ: \lambda = \frac{P}{S} = \frac{0.07}{40.69} = \mathbf{0.0017}$  και THD = 52 %.

3) Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα των συγκρίσεων μεταξύ των διαφορετικών φορτίων:

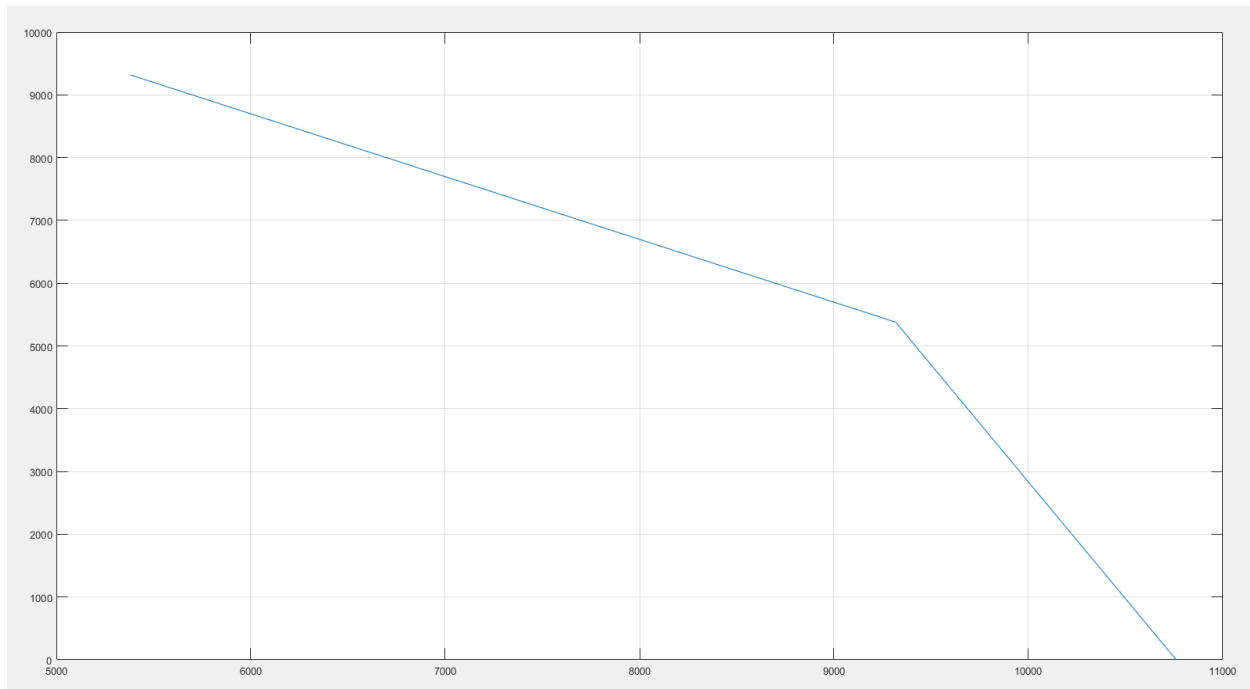






Αυτό που παρατηρούμε είναι πως για γωνίες έναυσης παραπάνω από τις  $60^\circ$  υπάρχει διαφορά στις παραπάνω τιμές καθώς τα thyristor βρίσκονται σε κατάσταση σβέσης λόγω του πηνίου στην περίπτωση R – L φορτίου, ενώ για την περίπτωση ωμικού φορτίου τα thyristor μπαίνουν σε κατάσταση σβέσης σε μεγαλύτερες γωνίες έναυσης συγκριτικά με το R – L φορτίο.

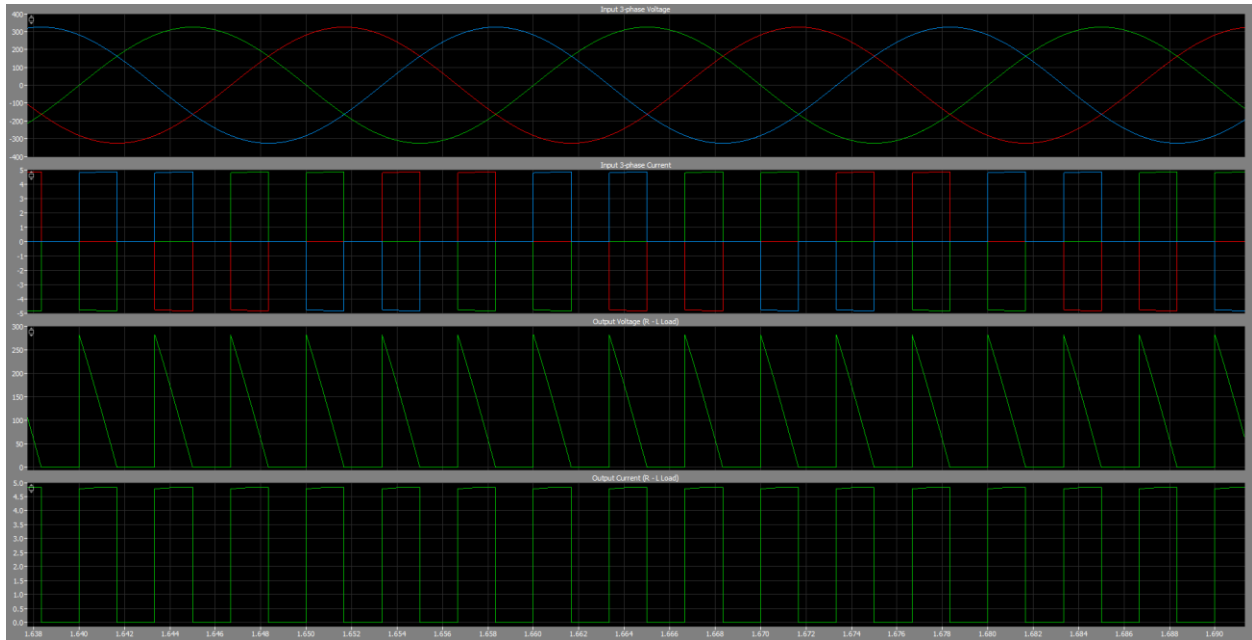
4) Παρακάτω παρατίθεται το γράφημα Q1 συναρτήσεως  $P_{in}$  που προκύπτει:



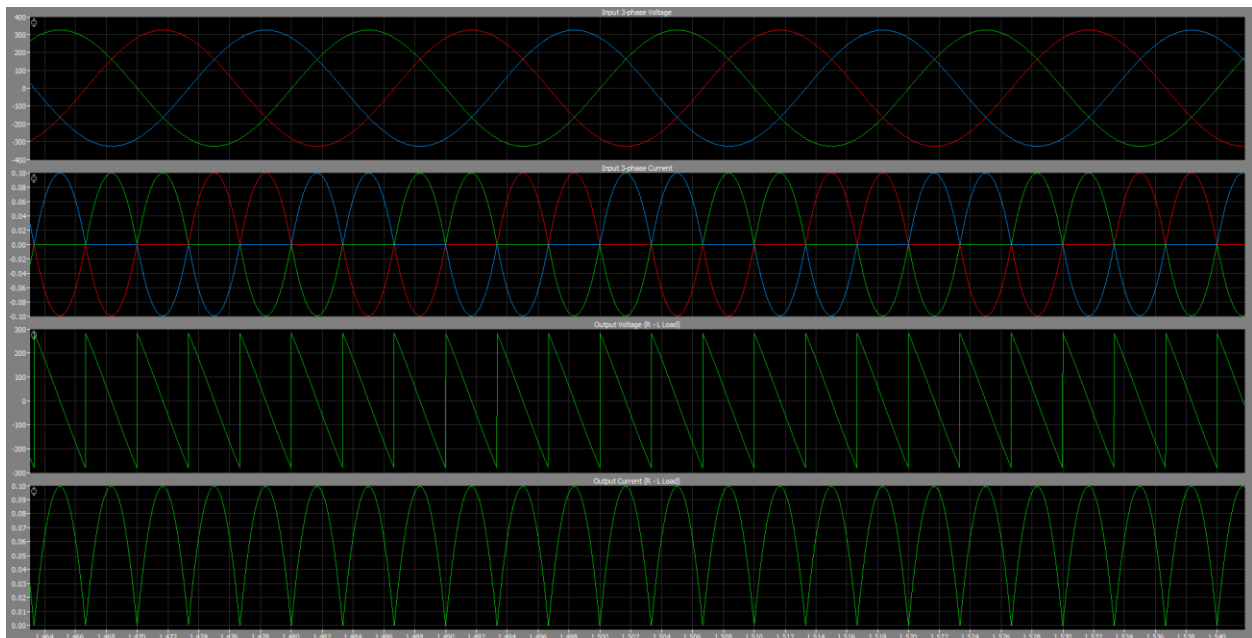
Η σχέση που συνδέει αυτά τα δύο μεγέθη είναι το κατά πόσο ο ωμικός παράγοντας είναι αισθητός καθώς η άεργος ισχύς εξαρτάται από το επαγωγικό φορτίο.



- 5) Την διάταξη με την δίοδο θα την χρησιμοποιήσουμε για επαγωγικό φορτίο καθώς όταν άγουν τα thyristor η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη και ορθά πολωμένη για επιπλέον χρόνο που χρειάζεται για τα thyristor να μπου σε σβέση εξαιτίας του πηνίου. Αυτό αποσκοπεί στην προστασία των ηλεκτρονικών διακοπών από υπερτάσεις που δημιουργούνται κατά την αποσύνδεση επαγωγικού φορτίου. Αυτή η διάταξη θα έχει ισχύ στην ασυνεχή περιοχή λειτουργίας (γωνία έναυσης από  $60^\circ$  έως  $120^\circ$ ). Παρακάτω παρατίθεται το γράφημα με συνδεδεμένη την δίοδο για γωνία έναυσης  $90^\circ$ :



Παρακάτω παρατίθεται το γράφημα που προκύπτει χωρίς την δίοδο συνδεδεμένη στο κύκλωμα:



## B.2

- 1) α) Για την επίλυση του ερωτήματος έχουμε πως η γωνία έναυσης 'α' θα είναι  $\alpha = 5 * 6 = 30^\circ$ . Δεδομένο αυτού έχουμε: Το ρεύμα στην έξοδο προσεγγίζεται από τον τύπο

$$I_{out} = \frac{3\sqrt{2} * V_{LL} * \cos(\alpha)}{\pi * R_{out}} \Rightarrow \frac{3\sqrt{2} * 398.37 * \cos(30)}{\pi * (15)} = \mathbf{31.06A}. \text{ Από θεωρία έχει αποδειχθεί ότι:}$$

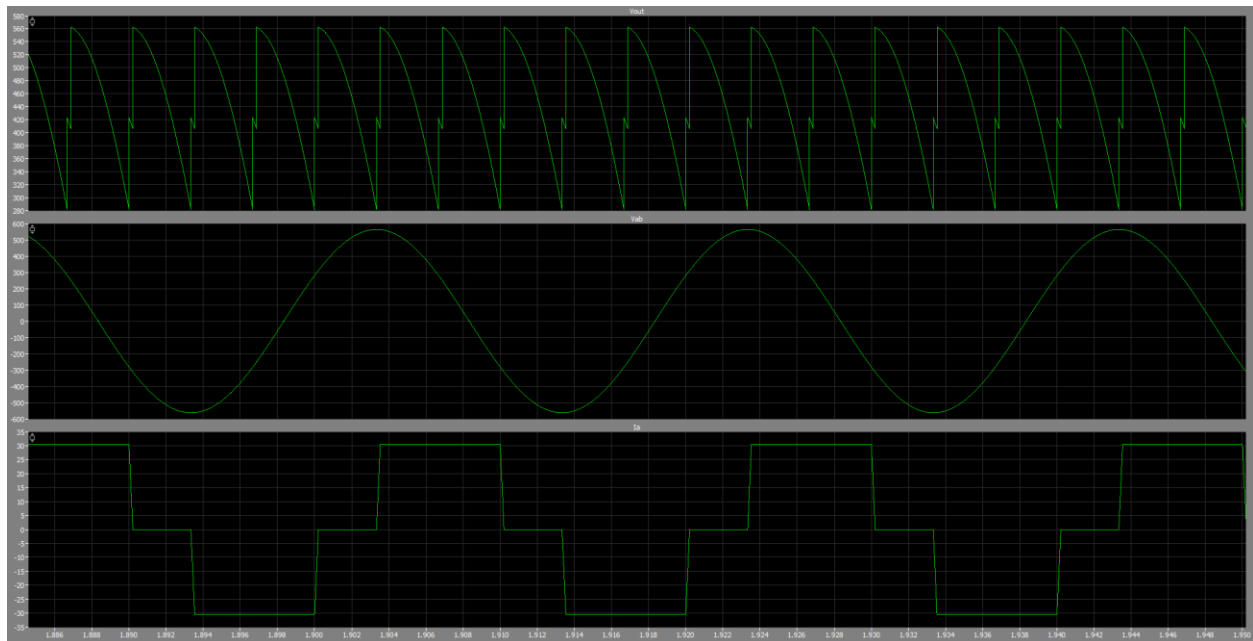
$$\cos(\alpha + \mu) = \cos(\alpha) - \frac{2 * \omega * L_s * I_{out}}{\sqrt{2} * V_{LL}} \Rightarrow \cos(30 + \mu) = \cos(30) - \frac{2 * 100\pi * 0.001 * 31.06}{\sqrt{2} * 398.37} = 0.83 \Rightarrow \underline{\mu = 5.16^\circ}.$$

Η μέση τιμή τάσης εξόδου υπολογίζεται από τον τύπο  $\frac{3\sqrt{2} * V_{LL} * \cos(\alpha)}{\pi}$  και ισούται με **465.91V**.

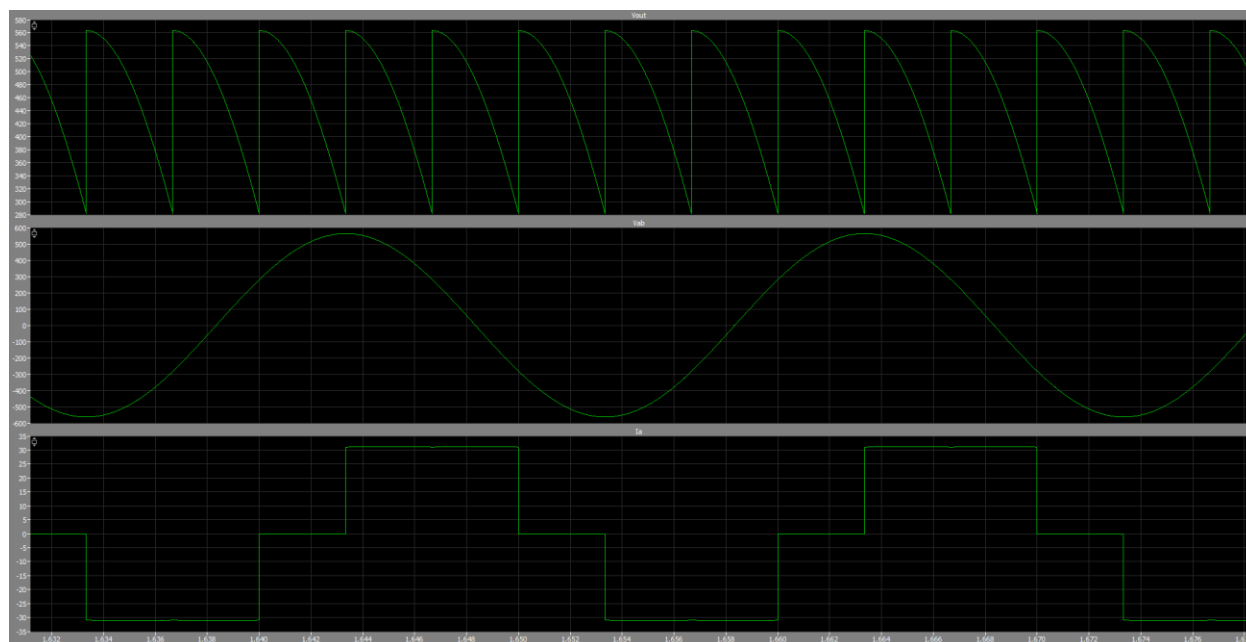
Εκτελώντας την προσομοίωση επιβεβαιώνεται πως η τιμή της μέσης τάσης εξόδου είναι: **465.9137V**

- β) Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα σύγκρισης:

Προσομοίωση με πηνία στην είσοδο:



Προσομοίωση χωρίς πηνία στην είσοδο:



2) α) Παίρνοντας ως δεδομένο ότι  $P_{in} = P_{out}$ , έχουμε ότι

$$P_{\alpha\chi\omicron\nu\alpha} = 15\text{kW} = V_{dc} \cdot I_{out,average} = P_{in}. \text{ Άρα: } V_{out,average} = V_R + V_{dc} = I_{out,average} \cdot R_{out} + 400 = 437.5\text{A}$$

$$\text{Άρα έχουμε από θεωρία ότι } \frac{3\sqrt{2} \cdot V_{LL} \cdot \cos(\alpha)}{\pi} = 437.5. \text{ Λύνοντας την εξίσωση ως προς } \cos(\alpha),$$

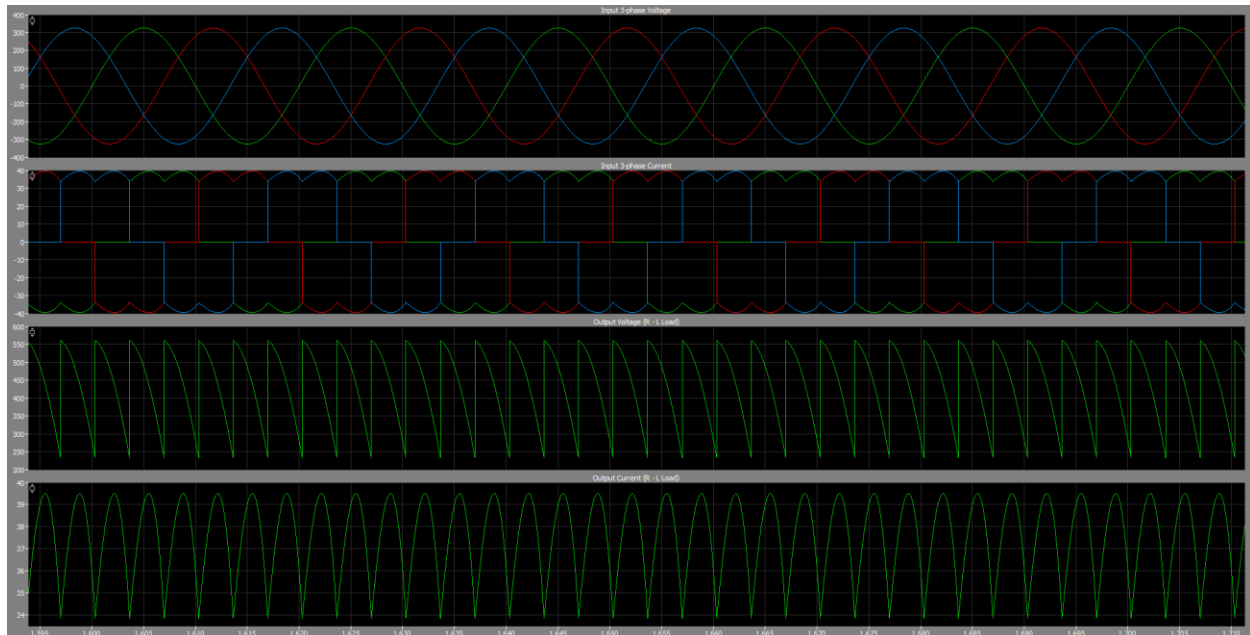
προκύπτει  $\cos(\alpha) = 0.812$ . Άρα η γωνία έναυσης είναι  $\alpha = \cos^{-1}(0.812) = 35.58^\circ$ . Εκτελώντας την προσομοίωση της διάταξης που παρουσιάστηκε στην εκφώνηση, βρίσκουμε πως η γωνία έναυσης που προσδίδει την απαιτούμενη ισχύ στον άξονα είναι ίση με  $\alpha = 35.58^\circ$ . Οι αποκλίσεις οφείλονται στις απλοποιήσεις που έγιναν στις σταδιακές πράξεις.

Για τις απώλειες χαλκού έχουμε τα εξής:  $P_{\alpha\pi. \chi\alpha\lambda\kappa\omicron\upsilon} = I_{\tau\upsilon\mu\pi\acute{\alpha}\nu\omicron\upsilon}^2 \cdot R_T$ , όπου  $R_T = 1\Omega$  και  $I_{\tau\upsilon\mu\pi\acute{\alpha}\nu\omicron\upsilon}$

ισούται με:  $\frac{P_{\alpha\chi\omicron\nu\alpha}}{V_{\tau\upsilon\mu\pi\acute{\alpha}\nu\omicron\upsilon}} = \frac{15000}{400} = 37.5\text{A}$ . Αντικαθιστώ στην παραπάνω εξίσωση και έχω:

$$P_{\alpha\pi. \chi\alpha\lambda\kappa\omicron\upsilon} = 37.5^2 \cdot 1 = 1406.25\text{W}.$$

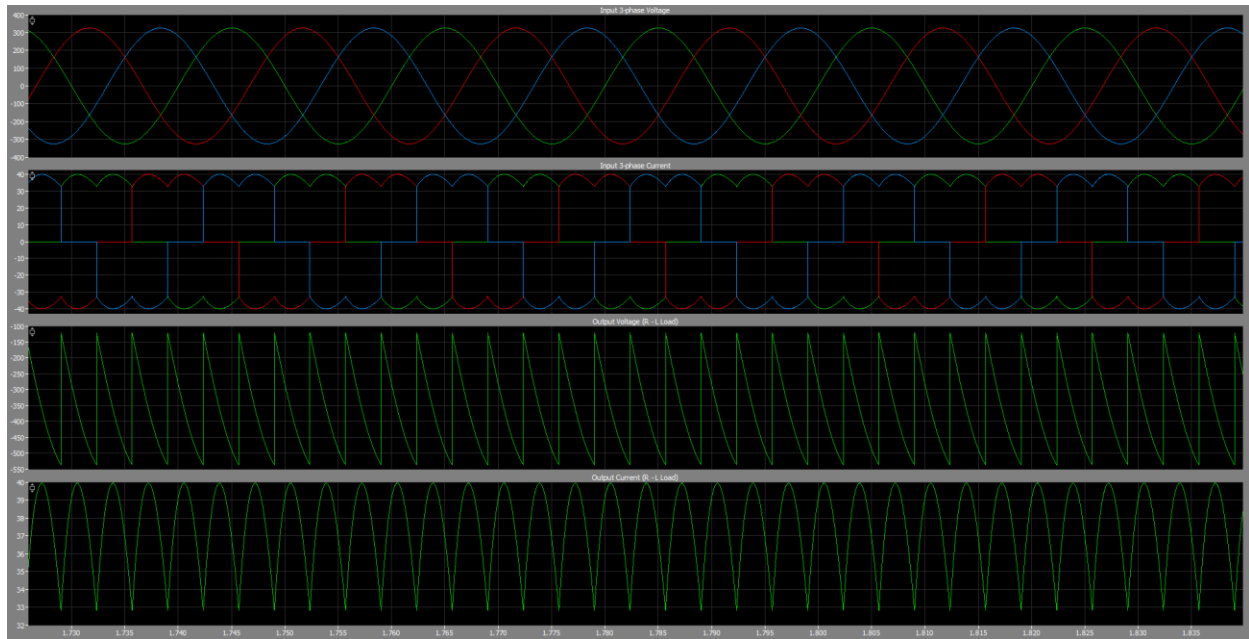
b) Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα από την εκτέλεση προσομοίωσης σύμφωνα με τα δεδομένα του ερωτήματος a):



c) Όπως και στο ερώτημα a) έχουμε τα εξής:  $P_{out} = 15kW = V_{dc} * I_{out,average} = P_{in}$ . Άρα:  
 $V_{out,average} = V_R - V_{dc} = I_{out,average} * R_{out} - 400 = -362.5A$ . Άρα έχουμε από θεωρία ότι  
 $\frac{3\sqrt{2} * V_{LL} * \cos(\alpha)}{R_{out}} = -362.5$ . Λύνοντας την εξίσωση ως προς  $\cos(\alpha)$ , προκύπτει  $\cos(\alpha) = -0.673$ .  
 Άρα η γωνία έναυσης είναι  $\alpha = \cos^{-1}(-0.673) = 132.361^\circ$ . Εκτελώντας την προσομοίωση της διάταξης που παρουσιάστηκε στην εκφώνηση, βρίσκουμε πως η γωνία έναυσης που προσδίδει την απαιτούμενη ισχύ στον άξονα είναι ίση με  $\alpha = 132.36^\circ$ . Οι αποκλίσεις οφείλονται στις απλοποιήσεις που έγιναν στις σταδιακές πράξεις.

Για την ισχύ που φτάνει πίσω στο δίκτυο έχουμε:  $P_{out} = 15kW$ ,  $P_{απλ. χαλκού} = 37.5^2 * 1 = 1406.25W$ , άρα η ζητούμενη ισχύς είναι  $15000 - 1406.25 = 13593.75$ .

d) Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα από την εκτέλεση προσομοίωσης σύμφωνα με τα δεδομένα του ερωτήματος c):



Παρατηρούμε πως η μορφή του ρεύματος εξόδου είναι σε μεγάλο βαθμό ομοιόμορφη ίδια καθώς και οι τιμές του, ενώ η τάση εξόδου στις δύο περιπτώσεις αλλάζει ελάχιστα μορφή και σε μεγάλο βαθμό παρατηρείται διαφορά τιμών που λαμβάνει λόγω της γωνίας και της αντιηλεκτρεγερτικής δύναμης.