ΑΣΚΗΣΗ 2

**Προσομοίωση μονοφασικών μετατροπέων  εναλλασσόμενης τάσης σε εναλλασσόμενη   με αντιπαράλληλα θυρίστορ**

***ΟΜΑΔΑ 04:***

[*ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ*](https://eclass.upatras.gr/main/profile/display_profile.php?id=64080&token=636a4f91-c1be7661e512baaef0e273a0ef7f079800aad723)

*ΣΑΒΒΑΣ ΡΗΓΙΝΟΣ*

[*ΜΠΑΛΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ*](https://eclass.upatras.gr/main/profile/display_profile.php?id=65432&token=636a4f91-dddb7b7cd414db36bd07bea3c874f13d0f02da15)

[*ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ*](https://eclass.upatras.gr/main/profile/display_profile.php?id=58042&token=636a4f91-8734f3c73be11c2206401182e888d6a4996d52ae)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Περιεχόμενα

[*1.* *Επεξήγηση του κυκλώματος παλμοδότησης* 3](#_Toc119092809)

[*2.* *Α) Μετρήσεις και κυματομορφες στο κύκλωμα ισχυως* 5](#_Toc119092810)

[*Για ωμικό φορτίο (R=50Ω)* 5](#_Toc119092811)

[*Για επαγωγικο φορτίο (L=256.66mH)* 11](#_Toc119092812)

[*Για ωμικό-επαγωγικο φορτίο (R=50Ω, L=256.66mH)* 20](#_Toc119092813)

[Β) Ύπαρξη Αέργου Ισχύως 29](#_Toc119092814)

## *Επεξήγηση του κυκλώματος παλμοδότησης*

Το κύκλωμα παλμοδότησης φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 1

Diagram, schematic

Description automatically generated

Εικόνα 1: Κύκλωμα Παλμοδοτησης στη MATLAB

Ακολουθεί μια σύντομη επέξηγηση του κυκλώματος καθως και οι διαφορες του με το πραγματικο:

* Παρατηρώντας το κύκλωμα διαπιστώνουμε πως αποτελείται απο 2 διατάξεις: την πανω και την κάτω. Αρχίζοντας απο την πάνω διάταξη βλέπουμε πως η τάση του δικτύου συγκρίνεται με το 0, περναει απο μια πυλη NOT και μετα απο ενα MOSFET. Αυτό εξασφαλίζει οτι η συνεχη πηγη ρεύματος των 2e-2 Α δίνει ρεύμα στην RC διάταξη μόνο όταν η τάση του δικτύου βρίσκεται στις θετικές τιμές της και εξασφαλίζει τη μονάδα συχρονισμού του κυκλώματος παλμοδότησης οπου στο πραγματικό κύκλωμα αυτό πραγματοποιείται με τη τάση και το pin 5 του TCA785.

A picture containing diagram

Description automatically generated

Εικόνα 2: Scope για την πάνω διάταξη

Η δεύτερη κυματομορφή της είκονας 2 μετρήθηκε αφου αποσυνδέσαμε το RC κύκλωμα για να δείξουμε την τάση πάνω σε αυτό.

* Στη συνέχεια περνάμε στην μονάδα ολίσθισης φάσης. Σε αυτο το σημείο το σήμα μας πρώτα περνάει απο έναν ολοκληρωτή το οποίο επιγχάνεται με το προαναφερθέν RC κύκλωμα. Η κλίση της ράμπας και η μέγιστη τιμή της αλλάζουν ανάλογα με την αντίσταση και τη χωριτικότητα του κυκλώματος τα οποία μπορούμε εμείς να ρυθμίσουμε. Η κυματομορφή του ολοκληρωτή μας είναι η τρίτη κυματομορφή της είκονας 2. Στο πραγματικό κύκλωμα ο RC ολοκληρωτής βρίσκεται στα pins 9,10 του TCA785.
* Κατόπιν περνάμε στη κάτω διάταξη οπου για να ολοκληρώσουμε τη μονάδα ολίσθησης φάσης θα πρέπει να συγκρίνουμε το σήμα μας με μία συνεχή τάση τιμής αναλογης με τη γωνία έναυσης που επιθυμούμαι. Στο πραγματικό κύκλωμα αυτο γίνεται με το pin 11 του TCA785 ενω στο δικό μας κύκλωμα συγκρίνουμε το σήμα μας με μια τιμή ( οπου

FA : firing angle και K : gain = 1/18).

* Η πρόσθεση της γωνίας ένασης με μια σταθερά PW ( PW : Pulse Width ), η συγκριση της με το σήμα απο τον ολοκληρωτή και η συνδεση των 2 σημάτων με μια AND πύλη αποτελεί τη μονάδα διαμόρφωσης παλμού. Η διάταξη αυτη ρυθμίζει τη διάρκεια του παλμου αφου ο παλμος αρχίζει όταν η τιμή της ράμπας φτάσει τη τιμή και τελιώνει οταν ο παλμός φτάσει τη τιμή .
* To τελικό σήμα προκύπτει αφου το περάσουμε απο εναν convert για να μετατρέωουμε το Boolean σήμα μας σε Double και έτσι εχουμε το παλμο του θυρίστορ 1 και μετατοπίζοντας κατα 180ο έχουμε το παλμό του θυρίστορ 2.

A screenshot of a computer

Description automatically generated with medium confidence

Εικόνα 3: Scope της κάτω διάταξης

Οι πρώτες 2 κυματομορφές μας δέιχνουν το σήμα που θα προέκυπτε αν δεν είχαμε συνδεσει την μονάδα διαμόρφωσης παλμών για το θυριστορ 1 ( κυματομορφη 1) και για το θυριστορ 2 ( κυματομορφη 2), ενω οι 2 τελευταίες μας δείχνουν τους τελικούς παλμούς για τα 2 θυριστορ έχοντας επιλέξει την επιθυμιτή διάρκεια των παλμών.

* Τέλος, είναι αρκετα σημαντικό να τονιστεί πως για το κύκλωμα προσομοίωσης που έχουμε δημιουργήσει δεν είναι απαραίτητα η μονάδα ενίσχυσης παλμού και ο μετασχηματισμός του παλμού ενώ για το πραγματικό κύκλωμα είναι.

## *Α) Μετρήσεις και κυματομορφες στο κύκλωμα ισχυως*

## *Για ωμικό φορτίο (R=50Ω)*

Diagram, engineering drawing

Description automatically generated

Εικόνα 4: Το κύκλωμα ισχύως για ωμικό φορτίο

* Μετρήσεις

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| α |  |  |  | (W) | (VA) | (Var) | (Var) | (Var) | λ |
| 30ο | 230 | 226.2 | 4.523 | 1037 | 1040 | 78.73 | 77.93 | 0.8042 | 09971 |
| 60ο | 230 | 206.7 | 4.135 | 915.3 | 951 | 258.1 | 242.3 | 15.79 | 0.9625 |
| 90ο | 230 | 164.1 | 3.283 | 644.8 | 755 | 392.8 | 331 | 331 | 0.854 |
| 120ο | 230 | 103.4 | 2.068 | 310.4 | 475.6 | 360.3 | 251.8 | 108.5 | 0.6527 |
| 150ο | 230 | 39.95 | 0.7989 | 69.64 | 183.8 | 170.1 | 80.95 | 89.1 | 0.379 |

* Παλμογραφήματα

1) α = 45ο

Chart

Description automatically generatedΤάση Εισόδου

Τάση Φορτίου

Ρεύμα Φορτίου

A picture containing diagram

Description automatically generatedΠαλμός Έναυσης

Θυριστορ 1

Παλμός Έναυσης

Θυριστορ 2

Diagram

Description automatically generated

Εικόνες 5,6,7: Παλμογραφήματα για ωμικό φορτίο για α=45

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 8: FFT Τάσης Φορτίου για α=45

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 9: FFT Ρεύματος Φορτιου για α=45

2) α = 135ο

A picture containing chart

Description automatically generatedΤάση Εισόδου

Τάση Φορτίου

Ρεύμα Φορτίο

Diagram

Description automatically generatedΠαλμός Έναυσης

Θυρίστορ 1

Παλμός Έναυσης

Θυρίστορ 2

Graphical user interface

Description automatically generated

Εικόνες 10,11,12: Παλμογραφήματα για ωμικό φορτίο για α=135

Chart, bar chart

Description automatically generated Εικόνα 13: FFT Τάσης Φορτίου για α=135

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 14: FFT Ρεύματος Φορτίου για α=135

* Σχολιασμος:

Σε αυτό το σημείο αξιοσημείωτο σχόλιο θα ήταν η ύπαρξη άεργου ισχύως με ωμικό φορτίο αλλα αυτό αναλύεται σε παρακάτω ερώτημα.

## *Για επαγωγικο φορτίο (L=256.66mH)*

Diagram

Description automatically generated

Εικόνα 15: Το κύκλωμα ισχύως για επαγωγικό φορτίο

* Μετρήσεις

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| α |  |  |  | (W) | (VA) | (Var) | (Var) | (Var) | λ |
| 90ο | 230 | 230 | 2.66 | 0 | 611.7 | 611.7 | 610.8 | 0.8682 | 0 |
| 120ο | 230 | 152.8 | 1.232 | 0 | 283.3 | 283,3 | 269.7 | 13.64 | 0 |
| 150ο | 230 | 65.29 | 0.2809 | 0 | 64.6 | 64.6 | 49.22 | 15.32 | 0 |

* Παλμογραφήματα

1. α= 45ο

Chart

Description automatically generatedΤάση Εισόδου

Τάση Φορτίου

Ρεύμα Φορτιού

A picture containing diagram

Description automatically generatedΠαλμός Έναυσης Θυρίστορ 1

Παλμός Έναυσης Θυρίστορ 2

Diagram

Description automatically generated

Εικόνες 16,17,18: Παλμογραφήματα για επαγωγικό φορτίο για α=45

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 19: FFT Τάσης Φορτίου για α=45

Table

Description automatically generated

Εικόνα 20: FFT Ρεύματος Φορτίου για α=45

1. Chart

   Description automatically generatedα = 90ο

Τάση Εισόδου

Ταση Φορτίου

Ρεύμα Φορτίου

A picture containing diagram

Description automatically generated  
Παλμός Έναυσης Θυρίστορ 1

Παλμός Έναυσης Θυρίστορ 2

Diagram

Description automatically generated with medium confidence

Εικόνες 21,22,23: Παλμογραφήματα για επαγωγικό φορτίο για α=90

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 24: FFT Τάσης Φορτίου για α=90

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 25: FFT Ρεύματος Φορτίου για α=90

1. Για α=145ο

A picture containing chart

Description automatically generatedΤάση Εισόδου

Τάση Φορτίου

Ρεύμα Φορτίου

Diagram

Description automatically generated

Παλμός Έναυσης Θυρίστορ 1

Παλμός Έναυσης Θυρίστορ 2

Diagram

Description automatically generated

Εικόνες 26,27,28: Παλμογραφήματα για επαγωγικό φορτίο για α=145

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 29: FFT Τάσης Φορτίου για α=145

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 30: FFT Ρεύματος Φορτίου για α=145

* Σχολιασμος

Σε αυτό το σημείο αξιοσημείωτο σχόλιο είναι πως όπως βλέπουμε απ τα παλμογραφήματα για το επαγωγικό φορτίο η λειτουργία με γωνία εναυσης α λίγοτερο απο 90ο δεν έχει νοήμα αφου για τέτοιες γωνίες έναυσης η λειτουργία του κυκλώματος είναι ίδια με αυτη που θα είχαμε αν δεν χρησιμοποιούσαμε το μετατροπέα.

## *Για ωμικό-επαγωγικο φορτίο (R=50Ω, L=256.66mH)*

Diagram

Description automatically generated

Εικόνα 31: Το κύκλωμα ισχύως για ωμικό-επαγωγικό φορτίο

* Μετρήσεις

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| α |  |  |  | (W) | (VA) | (Var) | (Var) | (Var) | λ |
| 60ο | 230 | 230 | 2.3 | 264.5 | 529 | 458.1 | 458.1 | 0 | 0.5 |
| 90ο | 230 | 188.6 | 1.595 | 129.6 | 366.9 | 343.3 | 337.1 | 6.211 | 0.3532 |
| 120ο | 230 | 126.4 | 0.8101 | 36.21 | 186.3 | 182.8 | 165.6 | 17.13 | 0.1943 |
| 150ο | 230 | 57.45 | 0.2193 | 3.281 | 50.43 | 50.33 | 36.73 | 13.6 | 0.06506 |

* Παλμογραφήματα

1) α = 15ο

Chart

Description automatically generatedΤάση Εισόδου

Τάση Φορτίου

Ρεύμα Φορτίου

A picture containing diagram

Description automatically generatedΠαλμός Έναυσης Θυρίστορ 1

Παλμός Έναυσης Θυρίστορ 2

Graphical user interface

Description automatically generated with low confidence

Εικόνες 32,33,34: Παλμογραφήματα για ωμικο-επαγωγικό φορτίο για α=15

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 35: FFT Τάσης Φορτίου για α=15

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 36: FFT Ρεύματος Φορτίου για α=15

2) α = γωνία φορτίο

Αρχικά πρέπει να υπολογίσουμε τη γωνία του φορτίου απο τον τύπο . Αρα

Chart

Description automatically generatedΤάση Εισόδου

Τάση Φορτίου

Ρεύμα Φορτίου

A picture containing diagram

Description automatically generatedΠαλμός Ένασυης Θυρίστορ 1

Παλμός Ένασυης Θυρίστορ 2

A picture containing chart

Description automatically generated

Εικόνες 37,38,39: Παλμογραφήματα για ωμικο-επαγωγικό φορτίο για α=14.36

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 40: FFT Τάσης Φορτίου για α=14.36

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 41: FFT Ρεύματος Φορτίου για α=14.36

2) α = 120ο

A picture containing chart

Description automatically generatedΤάση Εισόδου

Τάση Φορτίου

Ρεύμα Φορτίου

Diagram

Description automatically generated with low confidenceΠαλμός Έναυσης Θυρίστορ 1

Παλμός Έναυσης Θυρίστορ 2

Diagram

Description automatically generated

Εικόνες 42,43,44: Παλμογραφήματα για ωμικο-επαγωγικό φορτίο για α=120

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 45: FFT Τάσης Φορτίου για α=120

Chart, bar chart

Description automatically generated

Εικόνα 46: FFT Ρεύματος Φορτίου για α=120

* Σχολιασμός

Σε αυτό το σημείο αξιοσημείωτο σχόλιο είναι πως όπως βλέπουμε απ τα παλμογραφήματα για το ωμικο-επαγωγικό φορτίο η λειτουργία με γωνία εναυσης α λίγοτερο απο τη γωνία του φορτίου φ = 14.36ο δεν έχει νοήμα αφου για τέτοιες γωνίες έναυσης η λειτουργία του κυκλώματος είναι ίδια με αυτη που θα είχαμε αν δεν χρησιμοποιούσαμε το μετατροπέα. Το ίδιο ισχυει και για τα παλμογραφήματα με γωνία έναυσης 15ο αφου είναι πάρα πολύ κοντά στη γωνία του φορτίου

## Β) Ύπαρξη Αέργου Ισχύως

Οπώς βλέπουμε απο διάφορα παλμογραφήματα στην είσοδο του καθαρά ωμικού φορτίου υπάρχει άεργος ισχύς. Αυτό συμβαίνει διότι η προσθήκη του μετατροπέα στο κύκλωμα έχει μετατοπίσει τη γωνία του ρεύματος σε σύγκριση με τη γωνία της τάσης.

Για να σχεδιάσουμε τη καμπύλη την οποία εκφράζει τη μεταβολή της RMS τιμής της τάσης του φορτίου συναρτήσει της γωνίας έναυσης χρησιμοποιούμαι τον παρακάτω MATLAB κώδικα:

clear all; clc; close all;

vrms\_r = [226.2 206.7 164.1 103.4 39.95];

a\_r = [30 60 90 120 150];

vrms\_l = [230 152.8 65.29];

a\_l = [90 120 150];

vrms\_rl = [230 188.6 126.4 57.45];

a\_rl = [60 90 120 150];

figure();

subplot(3,1,1);

plot(a\_r, vrms\_r, "-o");

title("Vrms = f(a) για ωμικο φορτιο");

subplot(3,1,2);

plot(a\_l, vrms\_l, "-o");

title("Vrms = f(a) για επαγωγικο φορτιο");

subplot(3,1,3);

plot(a\_rl, vrms\_rl, "-o");

title("Vrms = f(a) για ωμικο-επαγωγικο φορτιο");

Οι ζητούμενες γραφικές παραστάσεις:

Chart, line chart

Description automatically generated